

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Un tatouage permanent n'a pas d'effet sur le taux de sudation local, la concentration locale de sodium dans la sudation et la température de la peau et n'impacte pas la prédiction des pertes en sodium du corps entier lors d'un exercice à vélo d'une heure dans un environnement chaud.

Par
Jeff Béliveau, B.Sc. Éducation physique et à la santé

Mémoire de maîtrise présenté à la Faculté des sciences de l'activité physique
En vue de l'obtention du grade de
Maître des sciences (M.Sc.)
Maîtrise en sciences de l'activité physique

Avril 2020
© Jeff Béliveau
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté des sciences de l'activité physique

Un tatouage permanent n'a pas d'effet sur le taux de sudation local, la concentration locale de sodium dans la sudation et la température de la peau et n'impacte pas la prédiction des pertes en sodium du corps entier lors d'un exercice à vélo d'une heure dans un environnement chaud.

Jeff Béliveau. B.Sc. Éducation physique et à la santé

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Directeur de recherche : Éric Goulet, Ph.D.

Membre interne : Pierre Boulay, Ph.D.

Membre externe : Daniel Gagnon, Ph.D.

Président du jury : Félix Bérigan, Ph.D.

Mémoire accepté le 16 avril 2020

SOMMAIRE

Cette étude a examiné l'impact d'une peau tatouée sur le taux de sudation local, la concentration de sodium dans la sueur et la température de la peau. De plus, elle a déterminé si les tatouages modifient la relation entre la concentration de sodium dans la sueur locale et celle du corps entier.

Treize hommes tatoués (27 ± 6 ans) ont participé à un essai expérimental sur ergocycle d'une durée d'une heure dans une chambre environnementale à 32 °C et à une humidité relative de 35%. Le taux de sudation et la concentration de sodium dans la sueur ont été recueillis à l'aide des techniques de mesure de la récolte de sodium au niveau du corps entier et de tampons absorbants apposés localement. Les tampons et les sondes de température de la peau ont été appliqués sur la cuisse droite / gauche et la région tatouée / non tatouée (controlatérale).

Les taux de sudation locaux n'ont pas été différents ($p > 0.05$) entre les cuisses droites (1.11 ± 0.38) et gauches ($1.21 \pm 0.37\text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$). Il est de même pour les taux de sudation des régions tatouées (1.93 ± 0.82) et non tatouées ($1.72 \pm 0.81\text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$). Il n'y a pas eu de différence de concentration en sodium dans la sudation locale entre les cuisses droites (58.2 ± 19.4) et gauches ($55.4 \pm 20.3\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) et les régions tatouées (73.0 ± 22.9) et non tatouées ($70.2 \pm 18.9\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$). La différence de température de la peau entre les cuisses droites et gauches (-0.043) a été similaire à celle entre les régions tatouées et les régions non tatouées (-0.023 °C). Les prédictions de la concentration de sodium dans la sueur du corps entier à partir des régions tatouées (41.0 ± 6.7) et non tatouées ($40.2 \pm 5.3\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) n'ont pas différé.

En conclusion, les tatouages permanents ne modifient pas le taux de sudation local, la concentration de sodium dans la sueur et la température de la peau pendant l'exercice. Les résultats recueillis à partir d'un tampon placé sur une surface tatouée permettent de prédire correctement la concentration de sodium dans la sueur du corps entier.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	4
TABLE DES MATIÈRES	5
LISTE DES TABLEAUX	7
LISTE DES FIGURES	8
REMERCIEMENTS	9
1. PROBLÉMATIQUE	10
1.1 Bref historique du tatouage	10
1.2 Prévalence des tatouages	10
1.3 Qu'est-ce que le tatouage?	11
1.4 Composition de la peau	13
1.4.1 Les couches de la peau et leurs fonctions	13
1.4.2 Physiologie des glandes sudoripares	14
1.5 Thermorégulation	15
1.5.1 Évaporation, radiation, conduction et convection	15
1.5.2 Thermorégulation / sudation / exercice	17
1.6 Mesurer la perte de sudation : local vs. corps entier	21
1.7 Impact du tatouage sur la production de sudation et la concentration de sodium	22
1.8 Énoncé du problème et but de l'étude	23
1.9 Hypothèses de recherche	24
2. MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS	24
2.1 Abstract	27
2.2 Introduction	29
2.3 Methods	31
2.4 Results	37
2.5 Discussion	41
2.6 References	46
2.7 Tables	52
2.8 Figure legends	54
2.9 Figures	55
3. DISCUSSION	61
3.1 Recherches futures	61
4. CONCLUSION	62
5. RÉFÉRENCES	64
ANNEXE A	72

ANNEXE B	73
ANNEXE C	74
ANNEXE D	75
ANNEXE E	76
ANNEXE F	77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des tatouages permanents.....	52
Tableau 2 : Caractéristiques de l'état hydrique des participants.....	53

LISTE DES FIGURES

Graphique 1 : Changement de la température locale de la peau pendant la première section (section A) et la deuxième section (section B) de la prise de données.....55

Erreur ! Source du renvoi introuvable.

Graphique 2 : Taux de sudation local et du corps entier.....56

Graphique 3 : Variations individuelles du taux de sudation entre la cuisse droite et gauche et la surface tatouée vs. non-tatouée.....57

Graphique 4 : Concentration en sodium (A) et en potassium (B) dans la sudation au niveau local et du corps entier.....58

Graphique 5 : Variations individuelles de la concentration de sodium dans la sudation entre la cuisse droite et gauche et la surface tatouée vs. non-tatouée.....59

Graphique 6 : Ratio entre la concentration de sodium dans la sudation locale vs. celle du corps entier (A) et le ratio entre le taux de sudation local vs. celui du corps entier (B).....60

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire n'aurait pu être possible sans la collaboration et le soutien de plusieurs personnes.

Je souhaite avant tout remercier mon Directeur Éric Goulet, pour son encadrement et sa disponibilité.

Un grand merci à ma famille pour leur soutien inconditionnel. Enfin, je tiens à remercier mes collègues de laboratoire pour leurs aides précieuses durant mes recherches.

1. PROBLÉMATIQUE

1.1 Bref historique du tatouage

Aussi surprenant que cela puisse être, l'art du tatouage fait partie des pratiques de l'Homme depuis plus de 7000 ans (Scheinfeld, 2007). Aucune preuve n'indique son existence avant, mais des vestiges ont été découverts partout dans le monde depuis toutes ces années. Entre autres, une momie surnommée Otzi a été découverte en 1991 dans les Alpes italiennes avec plusieurs tatouages. Les scientifiques parlent d'un homme ayant vécu il y a 5300 ans (Scheinfeld, 2007). Autant pour évoquer un statut social, une religion ou un ornement, le tatouage est symbole d'expression, et ce, depuis très longtemps (Scheinfeld, 2007). Malgré que le tatouage fait partie de la société depuis plusieurs siècles, cet art a déjà été considéré comme tabou dû à sa signification (Schmid, 2013). En fait, les tatouages peuvent vouloir refléter différentes significations et différents enjeux. Ainsi, l'émergence des stéréotypes est apparue, car le tatouage peut être utilisé pour s'identifier personnellement, pour exclure ou inclure un certain groupe à la société ou pour afficher fièrement cet art (Schmid, 2013). C'est seulement lors de l'invention du dermatographe au début du 20^e siècle que cet art est devenu plus accessible à toutes les classes de la société pour en faire une pratique de plus en plus banale (Roberts, 2012). De nos jours, on assiste à une autre façon de penser qui fait des tatouages un ornement accepté (M. L. Armstrong, Owen, Roberts, & Koch, 2002).

1.2 Prévalence des tatouages

Bien que la prévalence soit en constante augmentation depuis 20 à 25 ans, les spécialistes estiment qu'environ 10 à 20% de la population occidentale serait tatouée (Bucher, Miles, & Levy, 2018). Seulement aux États-Unis, on estime que 24% des gens ont au moins un tatouage (Heywood et al., 2012). Plus spécifiquement, 36% des Américains de 18 à 25 ans seraient tatoués au minimum à un endroit de leur corps

(Tiggemann & Hopkins, 2011). Au Canada, 10 à 20% de la population a au moins un tatouage. Plus particulièrement, les habitants de la Colombie-Britannique seraient les plus tatoués avec 28% de la population ayant au moins un tatouage (Atkinson, 2004).

Cette ère post-moderne qui amène un vent d'acceptation de soi a fait du tatouage un art populaire et individualisé chez plusieurs classes sociales et économiques. Il est même prouvé que cet art procure une meilleure estime de soi (Swami et al., 2012). En ce sens, les gens déjà tatoués sont souvent amenés à répéter l'expérience en ajoutant un tatouage à leur corps (Sagoe, Pallesen, & Andreassen, 2017). La population sportive n'y échappe pas. Plus précisément, chez la relève sportive composée des adolescents-athlètes, la prévalence des tatouages est de 3 à 16%. Et chez les adolescents-athlètes non tatoués, 13 à 55% disent vouloir se faire tatouer dans un avenir rapproché (Benjamins et al., 2006). La preuve de l'émergence de cet art chez les jeunes sportifs est irréfutable. Dans ce sens, à travers le sport professionnel, on voit aujourd'hui un grand nombre d'athlètes qui sont tatoués. En fait, au cours de la saison 2015-2016 de la NBA, il a été rapporté que 53% des joueurs avaient au moins un tatouage sur leur corps. Plus précisément, chez certaines équipes comme les Cavaliers de Cleveland et les Rockets de Houston, 73% des joueurs avaient au moins un tatouage (Luetkemeier, Hanisko, & Aho, 2017). Il est de même chez les joueurs de soccer. Lors de la coupe du monde de 2018 en Russie, 34% des joueurs laissaient voir un ou des tatouages (Kluger & Samimi, 2019).

1.3 Qu'est-ce que le tatouage?

Le tatouage peut être défini par l'insertion d'une certaine quantité de pigments exogènes dans le derme pour créer un dessin artistique permanent (Islam et al., 2016). Lorsqu'un tatoueur fait son travail, le dermographe percute la peau de 50 à 3000 fois/min avec une aiguille pour y déposer de 0.6 à 9.4 mg · cm⁻² d'encre (Arl et al., 2019). Ces ponctions permettent à l'encre de pénétrer dans la peau de 1 à 4 mm de profondeur (Luetkemeier et al., 2017). Par exemple, en sachant que l'épaisseur de l'épiderme et du derme est moins élevée sur l'avant-bras comparativement au deltoïde,

le dermographe ne pique pas toujours à la même profondeur (Van Mulder et al., 2017). Malgré tout, lors du tatouage de la peau, l'épiderme est brisé, car pour y déposer l'encre, il faut que la couche supérieure de la peau soit blessée. Les blessures causées à la peau par l'insertion répétée des aiguilles engendrent un processus d'inflammation (Luetkemeier et al., 2017). Par conséquent, les macrophages envahissent les régions remplies d'encre et procèdent à un nettoyage en se gorgeant d'encre. Néanmoins, une certaine proportion des macrophages gorgés d'encre ne peuvent regagner le système lymphatique et demeurent séquestrés au niveau du derme (Luetkemeier et al., 2017). Conséquemment, l'encre contenue dans ces macrophages, combinée à celle demeurée en suspension au niveau du derme et celle retrouvée dans les fibroblastes, constitue la base de la couleur permanente du tatouage. Pendant le processus de guérison succédant la ou les sessions de piquage, le tissu de granulation enrobera les pigments de couleur (Luetkemeier et al., 2017). Ainsi, l'organisme ne pourra plus réabsorber l'encre déposée et le tatouage sera définitif. Le temps de guérison après un tatouage varie de 3 à 4 semaines (Sperry, 1991). Pour faire le tatouage, les professionnels utilisent des encres qui contiennent des éléments organiques (composé polycyclique avec ou sans groupe azo) jumelés à des composantes métalliques (Arl et al., 2019). La concentration et le type d'éléments peuvent varier d'une marque à l'autre et d'une couleur à l'autre (Arl et al., 2019). De plus, les encres utilisées ne sont pas approuvées par les instances gouvernementales (Kluger & Koljonen, 2012). Lors de son travail, le tatoueur peut utiliser une aiguille mince pour faire les lignes délicates, mais pour créer des effets d'ombrage, par exemple, l'artiste peut utiliser un arrangement de 6 aiguilles plus larges et plates sur le dermographe (Sperry, 1991). L'insertion de pigments exogènes représente une situation in-vivo unique où des particules de sel métallique et d'éléments organiques restent emprisonnées dans le derme (Kluger & Koljonen, 2012). Par contre, la hausse des cancers de la peau chez les gens tatoués serait due à une coïncidence et non à une évidence scientifique (Kluger & Koljonen, 2012).

1.4 Composition de la peau

La peau, qui varie entre 1.5 et 4 mm d'épaisseur, est formée de 2 parties, l'épiderme et le derme. Cet organe est constitué de plusieurs éléments qui régissent, entre autres, la protection de notre organisme des attaques menées par des agents extérieurs, du maintien de l'équilibre hydrique et de la gestion de la chaleur corporelle (Silver, Freeman, & DeVore, 2001).

1.4.1 Les couches de la peau et leurs fonctions

L'épiderme contient plusieurs types de cellules soit les kératinocytes, les mélanocytes, les macrophagocytes intraépidermiques et les cellules de Merkel. Toutes ces cellules forment les quatre ou cinq couches de l'épiderme, dépendant du type de peau (épaisse ou fine). Elles confèrent à cette couche de la peau ses fonctions protectrices, sa couleur et ses fonctions proprioceptives (Varani, 1998). Le derme de la peau est composé de fibres de collagène, de nerfs, de vaisseaux sanguins et de glandes (Luetkemeier et al., 2017). Le derme de la peau humaine est composé de deux régions distinctes, le derme papillaire supérieur et lâche, et le derme réticulaire densément compacté. Bien que la frontière entre les deux régions soit difficilement identifiable, leur composition et organisation d'élastine et de collagène les rendent histologiquement distinctes (Cole, Quan, Voorhees, & Fisher, 2018). Au niveau de la couche papillaire, les fibres d'élastine et de collagène laissent passer les vaisseaux sanguins et les neurofibres. Il s'agit d'un tissu conjonctif lâche qui permet aux macrophagocytes et d'autres cellules protectrices d'éliminer les bactéries en contact avec la peau. Pour sa part, la couche réticulaire qui représente 80% de l'épaisseur du derme est beaucoup plus compacte. Cette couche est composée plus précisément de poches d'adipocytes, de fibres élastiques épaisses et d'épaisses couches de fibres de collagène (Schafer, Pandey, Ferguson, & Davis, 1985). Finalement, les glandes sudoripares ainsi que leurs parties sécrétrices se retrouvent enroulées dans les deux couches du derme (Sato, Kang, Saga, & Sato, 1989).

1.4.2 Physiologie des glandes sudoripares

Il y a près de 4 millions de glandes sudoripares chez l'humain. Elles sont principalement divisées en 2 types : eccrines et apocrines (Hu, Converse, Lyons, & Hsu, 2018). Les glandes eccrines sudorales composent 90% de l'ensemble des glandes sudoripares chez l'humain, et elles couvrent principalement le front, le torse, le dos et les avant-bras (Bain, Deren, & Jay, 2011). Les glandes eccrines sudorales sont les plus efficaces et les plus sollicitées lors de la sécrétion de la sudation et des électrolytes en situation de stress thermique où le maintien de la température corporelle est important. Ces glandes relâchent une solution hypotonique contenant une quantité variable d'électrolytes (Hu et al., 2018). La sueur est produite à partir du liquide extracellulaire entourant le glomérule des glandes eccrines sudorales. Puisque la sudation est hypotonique (concentration moyenne de sodium d'environ $40 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) relativement au liquide extracellulaire (concentration moyenne de sodium d'environ $140 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$), un rôle de premier plan exercé par les glandes eccrines sudorales est d'extraire une partie du sodium circulant au niveau des canaux excréteurs (Baker, 2017). La réabsorption des électrolytes est généralement due à l'aldostérone qui cause une réduction marquée de la concentration des ions de sodium dans la sudation par l'expression accrue du canal sodique épithélial contenu dans le tubule de la glande eccrine sudorale (Buono et al., 2018). Ainsi, en condition d'exercice, les glandes eccrines sudorales contribuent à la régulation de l'osmolalité du liquide extracellulaire, élément essentiel, entre autres, pour le contrôle de la soif (Hew-Butler, Verbalis, & Noakes, 2006) et de la thermorégulation (Sawka, 1992). La sécrétion de sueur suite à une augmentation de la chaleur corporelle s'initie par l'intégration d'un signal afférant provenant des récepteurs thermaux périphériques et centraux (Gagnon & Crandall, 2018). La sécrétion de l'acétylcholine par l'hypothalamus et son action sur les récepteurs muscariniques régule l'activation des glandes eccrines sudorales (Hu et al., 2018). Pour leur part, les glandes sudoripares apocrines sont surtout présentes dans les régions axillaires et anogénitopérinéale. Il y a environ 2000 glandes sudoripares

apocrines et elles sont situées plus profondément dans le derme. Contrairement aux glandes eccrines sudorales, leur conduit débouche dans la partie supérieure d'un follicule pileux, et non à la surface de la peau. Outre le liquide plasmatique, ces glandes sécrètent aussi des lipides, du lactate et des ions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^-) (Noel, Pierard-Franchimont, Pierard, & Quatresooz, 2012). Elles jouent un rôle peu important dans la thermorégulation. En fait, chez l'humain, leur fonction n'est pas claire. Leur activation est due aux neurofibres sympathiques sous l'effet de la douleur ou de stimuli psychiques (Best, Lieberman, & Kamilar, 2019).

1.5 Thermorégulation

Un exercice prolongé ou des hausses de température environnementale poussent l'Homme à tenter de maintenir une température corporelle acceptable (Lim, Byrne, & Lee, 2008) ainsi qu'un équilibre au niveau de ses fluides corporels. La capacité de l'humain à dissiper sa chaleur dans l'environnement qui l'entoure dépend en majorité de l'évaporation de la sudation produite par les glandes eccrines sudorales (Vimieiro-Gomes et al., 2005). Par contre, la radiation, la convection et la conduction sont aussi d'autres mécanismes qui modulent la thermorégulation (Bain et al., 2011).

1.5.1 Évaporation, radiation, conduction et convection

La sécrétion de la sueur est cruciale pour stabiliser la température corporelle lors d'une période de stress thermique (Bain et al., 2011). Sans cette transpiration et l'évaporation de cette sueur (Baker, 2017), la thermorégulation serait peu efficace, et du fait même, la performance à l'effort et la capacité à se refroidir seraient compromises (Schleh & Dumke, 2018). Le processus d'évaporation est uni directionnel, car la dissipation de la chaleur se fait uniquement de la peau vers l'environnement (Lim et al., 2008). Plus précisément, le refroidissement de l'organisme par évaporation survient lorsque la goutte de sueur passe de l'état liquide à gazeux (Baker, 2017). La capacité d'évaporation maximale absolue est une relation entre la capacité maximale de

sécrétion de sueur, de la température de l'environnement, de l'humidité de l'environnement et de la vitesse du vent (Cramer & Jay, 2015). Les processus de dissipation de chaleur par conduction, radiation et convection sont bi directionnel. Autrement dit, le transfert de chaleur entre la peau et l'environnement dépend du gradient de température entre les deux milieux. Par exemple, un ventilateur qui pousse de l'air plus chaud que la température de la peau va entraîner une hausse de la température de la peau (Lim et al., 2008). En fait, le gain ou la perte de chaleur corporelle causés par contact avec un fluide en mouvement ou le vent est appelé convection (Casa et al., 2015). La vitesse du fluide, la vélocité du fluide, la nature du fluide, la posture du participant et la pression ambiante affectent directement les échanges de chaleur par la convection lors d'un exercice (Cramer & Jay, 2019). Un exercice fait dans un environnement sans vent a un effet remarqué sur la capacité du corps à évacuer sa chaleur par convection et par évaporation (Casa et al., 2015). En effet, non seulement la convection permet au corps d'atténuer la hausse de chaleur corporelle causée par l'activité métabolique, mais aussi le stress cardiaque (Morrison, Cheung, & Cotter, 2014). Notamment, lors d'un exercice à vélo d'une intensité de 70 à 95% du seuil ventilatoire, dans une chambre environnementale, une étude a démontré que la performance est améliorée de 1 à 17% lorsqu'une personne est soumise à un vent de $4.8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ (Morrison et al., 2014). La conduction est un mécanisme qui permet un transfert de chaleur lors d'un contact direct de la peau avec un objet plus chaud ou plus froid (Casa et al., 2015). Par exemple, le «precooling» qui vise à refroidir le corps avec une veste remplie de glace avant un exercice est une méthode utilisant ce mécanisme (Morrison et al., 2014). Aussi, le transfert de chaleur peut être fait par radiation électromagnétique d'une source élevée en énergie vers une source plus faible en énergie (Casa et al., 2015). En fait, en situation d'exercice, une étude a démontré que l'intensité de l'exercice est directement affectée par le niveau de radiation solaire (Otani, Kaya, Tamaki, Hosokawa, & Lee, 2019).

1.5.2 Thermorégulation / sudation / exercice

En situation d'exercice physique, environ 80% de la chaleur corporelle produite par l'activité métabolique musculaire est éliminée à travers la sudation, tout dépendant des conditions environnementales. De ce fait, les glandes eccrines sudorales sont essentielles afin d'éliminer l'excès de chaleur corporelle produite en situation de stress thermique (Lim et al., 2008). La vitesse à laquelle la température corporelle augmente est déterminée par l'activité métabolique produite lors de l'effort, les échanges de chaleur avec l'environnement (radiation, convection et conduction) et la chaleur perdue par évaporation de la sudation (Cramer & Jay, 2016). D'ailleurs, en situation d'exercice, plus particulièrement dans un environnement chaud et humide, les pertes en sueur créent un déséquilibre excessif d'eau et d'électrolytes, et du fait même, affecte la performance (Baker, 2017). Il existe des différences de taux de sudation inter- et intra-individuelle (Havenith, Fogarty, Bartlett, Smith, & Ventenat, 2008). Il est généralement accepté qu'une mesure contralatérale du taux de sudation et de la concentration de sodium dans la sudation peuvent servir de contrôle (Luetkemeier et al., 2017). En effet, pour ces variables, les différences bilatérales de neuf sites différents sur le corps n'ont pas été significatives (Baker, 2017). Comme exemple, Baker (2017) fait mention d'un coefficient de variation local bilatéral du taux de sudation de 9.5% pour les triceps et de 16.3% pour le bas du dos. Par rapport à la concentration de sodium dans la sudation, Baker (2017) fait mention d'un coefficient de variation bilatéral de 6.2% pour les triceps et de 11.1% pour les mollets. Le sexe n'a pas d'effet sur la différence bilatérale de taux de sudation ou de concentration de sodium dans la sudation (Baker, 2017). Avec l'âge, il y a diminution de l'efficacité du corps à éliminer la chaleur (McGinn et al., 2017). À l'exercice, le sexe aussi peut influencer le taux de sudation absolu. Ceci est dû à une capacité moins élevée des glandes eccrines sudorales à sécréter la sudation chez les femmes. Ainsi, les femmes manifestent une moins bonne capacité d'évaporation lorsque la température du corps augmente (Gagnon & Kenny, 2011).

1.5.2.1 Taux de sudation à l'effort

Localement, le taux de sudation peut varier de 360% dépendant de la surface à l'étude (Baker, 2017). En fait, pour 1 h de course à intensité modérée (65% VO_2 max), il est possible de constater des écarts moyens entre le tronc avant, le tronc arrière, les bras et les épaules de $688 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ chez les femmes et de $536 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ chez les hommes (Havenith et al., 2008). Pour les deux sexes, les régions de la colonne vertébrale et du sternum sont celles ayant le taux de sudation le plus élevé (Havenith et al., 2008). Pour les femmes, on rapporte un taux de sudation de $882 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ au niveau de la colonne vertébrale, et de $1053 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ pour les hommes (Havenith et al., 2008). Le taux de sudation local tend à être supérieur sur le torse et le dos versus les extrémités, et plus élevé postérieurement versus antérieurement (Baker, 2017). Il a été démontré que le taux de sudation local peut traduire le taux de sudation du corps entier à l'exercice, et ce en utilisant des équations de régression (Baker, 2017). Par contre, pas tous les sites permettent de bien estimer le taux de sudation du corps entier. En effet, l'avant-bras ($p < 0.05$), le bas du dos ($p < 0.001$), l'omoplate ($p < 0.0001$) et le front ($p < 0.0001$) surestiment le taux de sudation du corps entier (Baker, 2017). Par contre, le taux de sudation local du triceps ($1.15 \pm 0.56 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$), du torse ($1.40 \pm 0.60 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$), de la cuisse antérieure ($0.97 \pm 0.32 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$) et du mollet ($0.75 \pm 0.34 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$) peut bien estimer le taux de sudation du corps entier à l'effort ($0.68 \pm 0.17 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$) (Baker, 2017). La sudation est résultante des réponses thermorégulatrices du corps humain (Baker, 2017; Baker, Stofan, Hamilton, & Horswill, 2009). L'exercice est connu pour entraîner une augmentation de la concentration en adrénaline, noradrénaline et en peptides vasoactifs dans le sang, ce qui contribue à augmenter le flux sanguin cutané, et du fait même la température de la peau (Vimieiro-Gomes et al., 2005). La réaction sudorale est directement liée aux changements de la température corporelle centrale et périphérique pour permettre au corps de se refroidir (Cheuvront et al., 2009). Ainsi, une diminution de la production de sudation au niveau de la peau, à cause de la présence d'un tatouage qui pourrait réduire le débit sanguin cutané (Luetkemeier et al., 2017), devrait entraîner une

augmentation de la température à cet endroit précis, et ce, plus élevé que la variation normale bilatérale de 0.5 °C (Niu et al., 2001).

1.5.2.2 Sécrétion de sodium à l'effort

La perte locale de sodium à travers la sudation lors d'un exercice physique se situe en moyenne à $44 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Par contre, prise au niveau du corps dans son entier, la perte moyenne de sodium à travers la sudation pendant l'exercice est de $36 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Baker, 2017). Dans la littérature, les différences de sécrétion locale et du corps entier en électrolytes dans la sudation ont seulement été investiguées chez les hommes (Baker, 2017). Il est juste d'utiliser la concentration en sodium local de la sudation de l'avant-bras antérieur ($38.7 \pm 18.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$), l'avant-bras postérieur ($49.1 \pm 21.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) et de la cuisse ($37.9 \pm 15.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) comme substitut à la perte totale en sodium de l'organisme en son entier en situation d'exercice ($43.2 \pm 14.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) (Baker, 2017). Par contre, certaines régions ne permettent pas de bien comprendre la perte de sodium au niveau du corps entier. Ces différences seraient causées par la plus grande sécrétion de sudation par glandes, et non pas à la densité des glandes ou au nombre de glandes. En fait, plus une glande eccrine sudorale est activée, plus elle est sensible aux signaux neuronaux et hormonaux, ce qui affecte le taux de sudation et la concentration de la sueur en sodium (Baker, 2017). La composition finale de la sudation dépend de la concentration en sodium de la sudation lors de la phase préliminaire de formation, de la capacité de réabsorption de la glande et du taux de sudation (Buono, Claros, Deboer, & Wong, 2008). Un individu soumis à un stress thermique comme l'exercice ou un changement de la température de l'environnement peut réabsorber de 0.19 à $0.83 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ de sodium (Gerrett, Amano, Inoue, Havenith, & Kondo, 2018). Une plus grande réabsorption en ions dans la sudation a été constatée sur la surface du dos comparativement aux extrémités (avant-bras) (Gerrett et al., 2018). La réabsorption peut être influencée par plusieurs facteurs comme l'acclimatation à la chaleur (Baker, 2017). En fait, il est bien connu que l'acclimatation à la chaleur entraîne une sudation moins concentrée en sodium (Buono et al., 2018;

Periard, Racinais, & Sawka, 2015). Chez les gens habitués à faire de l'exercice à la chaleur, les glandes sont plus sensibles à l'acétylcholine. Ce neurotransmetteur active la glande, ainsi, une plus grande sensibilité va induire la sudation plus rapidement et en plus grande quantité (Periard et al., 2015; Rivas, Rao, Castleberry, & Ben-Ezra, 2017). Lors d'une étude, Buono et al. (2018) ont démontré que lors d'une acclimatation à la chaleur de 7 jours, une baisse significative de la concentration en sodium dans la sudation survenait dès le deuxième jour de la phase d'acclimatation.

1.5.2.3 Comparaison entre les sexes

En fait, les femmes manifestent un taux de sudation moins élevé que les hommes (Baker et al., 2009). Comme exemple, pour un exercice de 90 min sur vélo à 75-80% de la fréquence cardiaque maximale, il a été démontré qu'un homme entraîné perd en moyenne 1.24 ± 0.29 L de sueur. En comparaison, une femme entraînée perd en moyenne 0.93 ± 0.20 L de sueur (Baker, 2017). Par contre, lorsque ces valeurs sont mises en relation avec la surface corporelle, il n'y a pas de différence entre les hommes et les femmes au niveau du taux de sudation local et du corps entier (Baker, 2017). Lors d'un effort à même intensité relative échelonné sur trois blocs consécutifs de 30 min ($200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $250 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), malgré un débit sanguin cutané équivalent aux hommes, les femmes manifestent une moins bonne capacité d'évaporation lorsque l'effort atteint l'intensité la plus élevée (Gagnon & Kenny, 2012). De plus, il n'y a pas de corrélation entre le sexe ($p = 0.25-0.98$) et le modèle qui prédit le taux de sudation du corps entier à partir du taux de sudation local (Baker, 2017). En ce qui concerne la concentration de sodium dans la sudation, il y a différence de concentration entre un même site chez l'homme comparativement à la femme. Par exemple, au niveau de l'avant-bras antérieur, la concentration moyenne dans la sueur en sodium est de $43.5 \pm 20.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ chez l'homme comparativement à $29.9 \pm 9.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ chez la femme (Baker, 2017). Par contre, il n'y a pas de différence de concentration en sodium de la sudation locale ($p = 0.58$) et celle du corps entier ($p = 0.50$) lorsque les femmes sont

comparées à des femmes et des hommes comparés à des hommes, donc à des productions de sudation relative au sexe de la personne (Baker, 2017).

1.6 Mesurer la perte de sudation : local vs. corps entier

À cause des différences de taux de sudation entre les humains et de l'importance du remplacement des fluides perdus à l'effort pour l'hydratation, la thermorégulation et la récupération (Goulet, Dion, & Myette-Cote, 2012), les chercheurs s'intéressent à mesurer la sudation et la quantité d'électrolytes perdus lors d'un exercice (Baker, 2017). Pour ce faire, il est possible de récolter une petite quantité de sudation dans un ou des tampons (10 à 42 cm²) absorbants placés sur la ou les zones d'intérêts (Baker, 2017). Sur le terrain, cette technique est la plus efficace pour déterminer le taux de sudation local et la concentration locale d'électrolytes dans la sudation (Baker, Barnes, Anderson, Passe, & Stofan, 2016). Pour recueillir la sudation contenue dans les tampons, ceux-ci sont centrifugés à 3000 révolutions · min⁻¹ pendant 10 min (Baker, 2017). La différence de poids des tampons entre le début et la fin de la collecte de sudation représente la quantité de sudation locale produite. Il est aussi possible de déterminer la quantité totale de sudation produite par le corps ainsi que la perte de sodium dans la sudation au niveau du corps entier. Pour connaître la quantité totale de sodium évacuée dans la sudation, la technique du «Whole body washdown» est utilisée (Baker, 2017; Baker et al., 2016). Avant l'exercice, le participant est complètement rincé avec de l'eau déminéralisée en utilisant un arrosoir à compression (Baker, 2017). Une période d'exercice s'ensuit en prenant soin que la sudation ne tombe pas au sol; pour y arriver, le participant est constamment essuyé pendant l'exercice avec des lingettes stériles et deux ventilateurs, un placé devant et l'autre derrière le participant, permettent de faciliter l'évaporation de la sudation (Baker, 2017). Après l'exercice, le participant enlève ses vêtements et ces derniers sont déposés au fond d'une douche ne contenant aucun minéraux (Baker, 2017). L'individu est ensuite rincé avec de l'eau déminéralisée dans la douche et complètement asséché par la suite à l'aide de lingettes stériles. Par la suite, l'eau ainsi que les lingettes au fond de la douche sont bien

mélangées et un échantillon est collecté pour analyse (Baker et al., 2009). Finalement, la perte de sudation au niveau du corps entier peut être mesurée à partir de la différence de poids corporel entre avant et après l'exercice.

1.7 Impact du tatouage sur la production de sudation et la concentration de sodium

Une récente étude faite chez dix hommes en santé ayant un tatouage unilatéral sur le torse, l'épaule, l'avant-bras, le bras ou le haut du dos a voulu exposer les effets d'un tatouage sur le taux de sudation et la concentration en sodium dans la sudation. Cette étude a démontré que le taux de sudation d'une peau tatouée est significativement moins élevé qu'une peau non tatouée, et que la concentration de sodium retrouvée dans la sudation d'une peau tatouée est significativement plus élevée qu'une peau non tatouée (Luetkemeier et al., 2017). Selon cette étude, le taux de sudation local moyen d'une peau tatouée serait de $0.18 \pm 0.15 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ comparativement à $0.35 \pm 0.25 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ pour une peau non-tatouée. Par rapport à la concentration de sodium retrouvée dans la sudation locale, en moyenne, une peau tatouée rejette $69.1 \pm 28.9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ comparativement à $42.6 \pm 15.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ pour une peau non-tatouée (Luetkemeier et al., 2017). Par contre, cette étude comporte un biais méthodologique important qui pourrait compromettre la validité externe des résultats. En effet, la sudation n'a pas été induite et récoltée pendant une période d'exercice physique. Plutôt, elle a été récoltée chez des participants passifs et provoquée de façon pharmacologique à l'aide d'un test par iontophorèse à la pilocarpine. Ce test est fréquemment utilisé afin de dépister la fibrose kystique. Il consiste à utiliser un courant électrique (iontophorèse) de faible puissance afin de transporter à travers la peau un agoniste cholinergique (sous forme de gel) stimulant la glande eccrine sudorale et, donc, la production de sudation (Pagaduan et al., 2018). Or, il a été démontré que la production de sudation est beaucoup moins élevée lorsqu'elle est stimulée de façon pharmacologique, comparativement à lorsqu'elle est induite par une période d'exercice (Vimieiro-Gomes et al., 2005). Cette différence est dû au fait que le stimulus de l'exercice semble plus

important que celui de la pilocarpine, car il implique des mécanismes thermaux et non-thermaux comme la contraction musculaire, l'activation des barorécepteurs, la stimulation des métaborécepteurs et l'équilibre des fluides corporels (Shibasaki & Crandall, 2010; Vimieiro-Gomes et al., 2005). Pour leur part, Rogers, Irwin, McCartney, Cox, et Desbrow (2019) ont fait une étude dans laquelle ils ont examiné l'impact du tatouage sur la production de sueur et la concentration de sodium dans la sueur au niveau local pendant un exercice par intervalles (4 x 5 minutes à une intensité relative aux réponses individuelles) fait à 25°C et à 60% d'humidité relative. Ils n'ont observé aucune différence significative entre le taux de sudation et la concentration de sodium dans la sueur entre la zone tatouée et la zone controlatérale non tatouée. Cependant, l'impact de ces résultats n'est pas clair, car l'intensité de l'exercice module le taux de sudation et la concentration de sodium dans la sueur (Baker et al., 2019). De ce fait, dans l'étude de Rogers et al. (2019), les participants se sont exercés à une puissance correspondante à leurs réponses physiologiques à l'effort. Cela peut avoir confondu les conclusions, car des variations de l'intensité de l'effort, d'un individu à l'autre, peut entraîner des variations importantes de production de chaleur métabolique, et du fait même, de production de sueur (Baker et al., 2019).

1.8 Énoncé du problème et but de l'étude

Considérant que les glandes eccrines sudorales subissent un traumatisme substantiel lors du processus de tatouage, que ces dernières résident dans le même milieu que l'encre injectée lors du processus de tatouage et que les tatouages engendrent souvent un excès de production de tissus fibreux (Serup, Carlsen, & Sepehri, 2015), il est raisonnable de se demander si le fonctionnement des glandes eccrines sudorales peut être affecté par la présence d'un tatouage sur la peau. Sur la base des faits énumérés, il semble impératif de comprendre l'influence du tatouage sur la production de sudation, les pertes de sodium à travers la sudation et la température locale de la peau en situation d'exercice physique afin de déterminer si ce processus altère la physiologie de la peau. De plus, le but de ce mémoire est de déterminer si un tatouage influence la relation

entre la concentration de sodium d'un échantillon de sudation local et la concentration en sodium de la sudation du corps entier. Et ce, en utilisant l'équation de prédiction établie par Baker et al. (2009).

1.9 Hypothèses de recherche

Nous pensons qu'en situation d'exercice 1) le taux de sudation local dérivé de la peau tatouée sera moins élevé que celui dérivé de la peau non tatouée, 2) la concentration de sodium prélevée via un échantillon de sudation locale sera plus élevée pour la peau tatouée vs. la peau non tatouée, 3) la température locale de la peau tatouée vs. une peau non tatouée sera plus élevée que la variation normale bilatérale de 0.5 °C et 4) l'équation de régression permettant de prédire la concentration de sodium du corps entier à partir d'un échantillon de sudation obtenue sur une peau non tatouée ne pourra être utilisée de façon interchangeable avec un échantillon de sudation obtenue à partir d'une peau tatouée.

2. MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS

Puisque ce mémoire est par article, les sections méthodologie et résultats sont décrites dans l'article scientifique ci-joint intitulé «**Permanent tattooing has no impact on local sweat rate, sweat sodium concentration and skin temperature or prediction of whole-body sweat sodium concentration during cycling in a warm environment**». Cet article a été soumis pour publication au journal "European Journal of Applied Physiology". La preuve de soumission peut être trouvée ci-bas.

-----Original Message-----

On Behalf Of European Journal of Applied Physiology (EJAP)

To: Éric Goulet

Subject: EJAP-D-19-00916 - Submission Confirmation

Dear Dr. Goulet,

Thank you for submitting your manuscript, Permanent tattooing has no impact on local sweat rate, sweat sodium concentration and skin temperature or prediction of whole-body sweat sodium concentration during cycling in a warm environment, to European Journal of Applied Physiology.

The submission id is: EJAP-D-19-00916

Please refer to this number in any future correspondence.

During the review process, you can keep track of the status of your manuscript by accessing the journal's website.

Should you require any further assistance please feel free to e-mail the Editorial Office by clicking on "Contact Us" in the menu bar at the top of the screen.

With kind regards,
Springer Journals Editorial Office
European Journal of Applied Physiology

Permanent tattooing has no impact on local sweat rate, sweat sodium concentration and skin temperature or prediction of whole-body sweat sodium concentration during cycling in a warm environment

Authors: Jeff Beliveau ¹, Maxime Perreault-Briere ¹, David Jeker ¹, Thomas. A. Deshayes ^{1,2}, Ana Durán-Suárez ³, Lindsay B. Baker ⁴ and Eric. D.B. Goulet ^{1,2}

¹Faculty of physical activity sciences, University of Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, CAN; ²Research Centre on Aging, University of Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, CAN; ³Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Organización Deportiva, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, MEX; ⁴Gatorade Sports Science Institute, Barrington, IL, USA.

Running head: Thermoregulation and tattoos

2.1 Abstract

Purposes: This study investigated the impact of permanently tattooed skin on local sweat rate, sweat sodium concentration and skin temperature and determined whether tattoos alter the relationship between local and whole-body sweat sodium concentration.

Methods: Thirteen tattooed men (27 ± 6 yrs) completed a 1 h ($66 \pm 4\%$ of $\dot{V}O_{2\text{peak}}$) cycling trial at 32°C , 35% relative humidity. Sweat rate and sweat sodium concentration were collected using the whole-body washdown and local absorbent patch techniques. Patches and skin temperature probes were applied over the right/left thighs and tattooed/non-tattooed (contralateral) regions.

Results: Local sweat rates did not differ ($p \leq 0.05$) between the right (1.11 ± 0.38) and left (1.21 ± 0.37) thighs and the permanently tattooed (1.93 ± 0.82) and non-tattooed ($1.72 \pm 0.81 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$) regions. There were no differences in local sweat sodium concentration between the right (58.2 ± 19.4) and left (55.4 ± 20.3) thighs and the permanently tattooed (73.0 ± 22.9) and non-tattooed ($70.2 \pm 18.9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) regions. Difference in local skin temperature between the right and left thighs (-0.043) was similar to that between the permanently tattooed and non-tattooed (-0.023°C) regions. Prediction of whole-body sweat sodium concentration for the permanently tattooed (41.0 ± 6.7) and the non-tattooed ($40.2 \pm 5.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) regions did not differ.

Conclusion: Permanent tattoos do not alter local sweat rate, sweat sodium concentration or local skin temperature during exercise. Results from a patch placed over a tattooed surface correctly predicts whole-body sweat sodium concentration.

Keywords Exercise · Sodium · Sweat loss · Tattoos · Thermoregulation

Abbreviations

ANOVA	Analysis of variance
CHUS	Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke
CIUSSS	Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux
CV	Coefficient of variation
RH	Relative humidity
SD	Standard deviation
VO	Oxygen consumption
VO_{2peak}	Peak oxygen consumption

2.2 Introduction

It is estimated that about 10 to 30% of the general population displays permanent tattoos (Bucher et al., 2018); in Canada, 22% of the population have at least one permanent tattoo and, in the United States of America, this proportion reaches up to 30% (Heywood et al., 2012). The prevalence of permanent tattoos among athletes is relatively high in certain sports. For example, it has been reported that 53% of basketball players, and 35% of soccer players, are tattooed (Kluger, 2014; Luetkemeier et al., 2017; Muller, Hogg, & Itin, 2018).

The process of permanent tattooing involves injecting ink into the dermis region of the skin, which contributes to injury several layers of the skin (Sweeney, 2006). During the healing process of the skin, a portion of the injected ink becomes trapped within the superficial dermis, which renders the tattoo permanent. Parts of the secretory coil and duct of the eccrine sweat glands reside within the dermis region of the skin. Considering that eccrine glands experience substantial trauma during the tattooing process, and that they reside within the same environment as the injected ink, it is reasonable to believe that their control and function can be affected during exercise by the presence of permanent tattoos on the skin.

Eccrine sweat glands play a critical role during exercise. In fact, the ability of humans to dissipate heat to the surrounding environment during exercise is largely dependent upon the evaporation of sweat produced by the eccrine glands (Vimieiro-Gomes et al., 2005). In addition, they are essential for regulating the osmolality of the extracellular fluid during exercise by reabsorbing some of the sodium travelling through the ducts (Amano et al., 2017). Thus, during exercise, eccrine glands are involved in the control of thirst, fluid balance, electrolyte balance and thermoregulation (Brown, McCarty, & Millard-Stafford, 2011; Hew-Butler et al., 2006; Nose, Mack, Shi, & Nadel, 1988).

In 1970, Cotton et Kuypers (1970) examined the impact of permanent tattooing on local sweat production in one subject who had been tattooed for 15 yrs. Thermal sweating was induced by an electric heater placed in front of the subject and water vapor loss was measured using a 5 mm diameter cup and dry nitrogen as the carrier

gas. Results showed that maximal sweat rate and mean sweat rate recorded from the tattooed area were lower than the non-tattooed contralateral region. More recently, Luetkemeier et al. (2017) showed that permanently tattooed skin produces less sweat and higher sweat sodium concentration than non-tattooed skin. However, in this study, sweat was induced at rest and pharmacologically using an acetylcholine antagonist, i.e., pilocarpine iontophoresis. As they were performed under resting conditions, which is not representative of the sweat loss that would occur and be observed during normal exercise conditions, it was unclear whether or not results of the two aforementioned studies could be inferred to exercise conditions (Vimieiro-Gomes et al., 2005).

As a result, Rogers et al. (2019) completed a study where they examined the impact of permanent tattooing on localized sweat production and sweat sodium concentration during 20 min of intermittent exercise conducted at 25°C and 60% of relative humidity (RH). They observed no significant difference in sweat rate and sweat sodium concentration between the permanently tattooed area and the non-tattooed, contralateral area. However, the robustness of these findings are unclear, as exercise intensity modulates localized sweat rate and sweat sodium concentration (Baker et al., 2019); in Rogers et al.'s (2009) study, participants exercised at a power output suiting individual participant responses, which may have confounded findings. Moreover, localized sweat loss and sweat sodium concentration both vary with ambient temperature or heat stress (Dziedzic, Ross, Slater, & Burke, 2014). Whether findings similar to those by Rogers et al. (2019) could be observed in hotter conditions warrants attention. Finally, Rogers et al. (2019) did not examine the effect of permanent tattooing on local skin temperature.

Sodium replacement during or after exercise may sometimes be necessary for athletes to maintain thirst drive or electrolyte balance or enable optimal fluid replenishment (G. H. Evans, James, Shirreffs, & Maughan, 2017). Field-based measurement of sweat sodium concentration is getting increasingly popular among endurance athletes and is usually accomplished using the absorbent patch technique (Barnes et al., 2019). Baker et al. (2009) determined that it is possible to improve the precision of the absorbent patch technique using regression equations predicting whole-body sweat sodium

concentration. Whether the presence of tattoos on the skin may alter the relationship between local sweat sodium concentration and whole-body sweat sodium concentration remains to this day unknown.

The purpose of this study was, therefore, to compare local sweat rate, sweat sodium concentration and skin temperature between permanently tattooed and non-tattooed skin during cycling exercise conducted at moderate intensity (68% of peak oxygen consumption ($\dot{V}O_{2\text{peak}}$)) and 30°C, and determine whether tattooing alters the relationship between local and whole-body sweat sodium concentration.

2.3 Methods

Participants

Thirteen healthy recreationally-trained and endurance-trained Caucasian male athletes (age: 27 ± 6 yrs; height: 177 ± 8 cm; body mass: 73 ± 9 kg; body mass index: 23.2 ± 1.5 kg \cdot m²; body surface area: 1.90 ± 0.15 m²; resting heart rate: 62 ± 8 beats \cdot min⁻¹; maximal heart rate: 182 ± 11 beats \cdot min⁻¹; $\dot{V}O_{2\text{peak}}$: 49 ± 7 mL \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹; maximal power output: 303 ± 58 W) were recruited to participate in this study. Tattoo characteristics are presented in Table 1. The experimentations were conducted in the early fall through the winter months (September to February); therefore, participants were only partially, or non-heat acclimatized at the time of the study. Potential participants were excluded if (1) the surface area of their permanent tattoo of interest was < 10 cm², which corresponds to the minimum absorbent surface areas of the patches used to collect sweat; (2) it was impossible to measure the surface area of their tattoo of interest; (3) more than 20% of their skin surface was permanently tattooed; (4) their tattoo of interest was not on a part of the body allowing contralateral control and; (5) they had tattoos on one or both thighs. Participants were informed about the experimental procedures and risks associated with the study before providing their verbal and written informed consent. The CIUSSS Estrie-CHUS Ethics Committee approved all protocol procedures (#2018-2757). Informed consent was obtained from all individual participants included in the present study.

Preliminary visit

During the preliminary visit, participants underwent measurements of body mass, height, resting heart rate, resting blood pressure, tattoos' surface area and $\dot{V}O_{2peak}$. Nude, post-void body mass was measured with a high precision digital scale (Bx-300+, Atron Systems, USA), height with a wall stadiometer and heart rate and blood pressure after a 3-min seated period with a digital sphygmomanometer (Welch Allyn 420 series, USA). To measure the surface area of the tattooed region, a thin plastic film (Cling wrap, Glad, USA) was applied and affixed to the skin after which the tattoo was drawn using a Sharpie-type permanent ink pen. The plastic film was then carefully removed, gently laid flat on a table, stretched to remove wrinkles and finally pictured. The picture was transferred to a computer and analyzed using the ImageJ software (NIH, USA). Peak oxygen consumption was measured on an ergocycle (E-100, Cosmed, USA) using an expired gas analysis system (Cosmed Quark CPET, Cosmed, USA) that had been calibrated with gases of known concentration. Participants began cycling at a resistance of 100 W for 2 min, after which the load was subsequently increased by 30 W · 2 min⁻¹ until exhaustion. Participants were encouraged to produce a maximal effort, and the test ended when they stopped their effort voluntarily or were no longer able to turn the pedals. Using the linear relationship between power output and $\dot{V}O_2$, individual cycling resistances corresponding to 68% $\dot{V}O_{2peak}$ were determined.

Pre-experimental protocol

During the last 24 h before the experiment participants were advised to increase their consumption of complex carbohydrates and asked either to abstain from vigorous exercise or perform an easy training session. The day prior to each experiment, the friction-braked ergocycle (ergomedic 828E, Monark, Sweden), 378-L plastic tank (Rubbermaid, USA), laboratory shower (+ curtain) (Mustee, USA), towels and synthetic chamois used for the experiments were thoroughly washed and rinsed with deionized water. Equipment (socks, cycling short and chest electrode) to be worn by participants during the experiments were also washed with deionized water. Two sterile wipes and a synthetic chamois were installed on the handlebars and seat of the ergocycle, respectively. All materials that would touch the participants during the

experiment were weighed using a digital compact scale (Symmetry, Cole Parmer, USA). One hour before the experiment participants drank 250 mL of water, after which they remained fast.

Experimental procedures

To accommodate the participants' schedules, experiments were performed at different times of the day. Participants completed one experimental trial and the contralateral side of the tattooed area of interest served as control. Moreover, the ventral part of the right and left thighs was used to establish the normal side-to-side coefficients of variation (CV) in local sweat rate, sweat sodium concentration and skin temperature. Upon arrival at the laboratory, participants voided their bladder, collected a midstream urine sample for assessment of baseline urine specific gravity and were weighted in the nude. Next, all four areas, i.e., left thigh, right thigh, non-tattooed and tattooed regions, to which absorbent patches and skin probes would be applied over, were shaved with a disposable razor (area of 10 x 11 cm at the thighs level and 7 cm x 11 cm or 10 cm x 11 cm for the tattooed and contralateral regions), slightly sanded (3M red dot, 3M, USA) and then marked with a Sharpie-type permanent ink pen to pinpoint the exact locations where the skin probes and patches would need to be applied during the experiments. Afterwards, in a public shower, participants thoroughly washed their body with a non-odorous bar soap (original Ivory, Procter and Gamble, USA) and their hair with a silicone- and Paraben-free shampoo (Whole Blends, Garnier, France). Following complete rinsing with tap water participants dried themselves with an ion-free towel and transferred to the laboratory where they were rinsed with 4 L of deionized water using a hand pump sprayer (Stand'N Spray Sprayer, Chapin, USA). Participants then dried themselves with sterile wipes (Wypall L-40, Kimberly Clark, USA), put on their cycling short, socks and disposable shoe covers and were finally instrumented with skin temperature probes and a chest electrode. Afterwards, participants were transferred to the environmental chamber, removed the shoe covers and sat quietly on the bike without putting their hands on the handlebars.

Exercise session

Participants were required to cycle for 1 h in a warm environment (32°C, 35% RH) at a resistance eliciting 68% of their $\dot{V}O_{2\text{peak}}$. No fluid or food intake was permitted during the exercise period. Skin temperature was monitored during the first 20 min (first collection period) and last 10 min (second collection period) of the exercise period. Adhesive absorbent patches were applied to the skin ~22 min into the experiment. To promote evaporation of sweat one high velocity (air flow: $4\text{--}5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 24'' diameter basket fan (Secco, Canada) was placed in front and another behind the participants. To prevent sweat from dripping to the ground two research assistants, while wearing gloves, paid special attention to wipe areas of the body where sweat apparent to the eyes was accumulating on the skin. Every 5 min participants stopped pedaling for ~20 sec to wipe their legs, forehead, neck and trunk. Immediately following exercise skin probes, chest electrode, cycling short, socks and sterile wipes placed on the handlebar and synthetic chamois on the seat were removed, participants put on the shoe covers, were weighted and then transferred to the laboratory shower.

Measurements and computations

Skin temperature and heart rate

Local skin temperature was measured every 10 sec with 5-point calibrated YSI 409 B probes (Yellow Springs Instrument, USA) held in place with one layer of Hypafix dressing (BSN medical, Germany). The skin probes were connected to a USB-TEMP data acquisition box (MC measurement computing, USA). Positioning of the probes was standardized during the first and second skin temperature monitoring periods. The skin probe placed over the tattoo was positioned in such a way to cover a zone that was completely filled with ink. Heart rate was measured every 5 min using a Garmin™ heart rate chest electrode linked to a USB ANT stick (Garmin, USA) + Golden Cheetah software.

Whole-body sweat loss and sweat rate

Whole-body sweat loss was computed using the pre- to post-change in body mass, corrected for respiratory water losses and the body mass losses associated with

substrate oxidation (Mitchell, Nadel, & Stolwijk, 1972). Whole-body sweat rate was computed by further correcting for time and body surface area, which was computed using the Dubois and Dubois equation (Verbraecken, Van de Heyning, De Backer, & Van Gaal, 2006).

Local sweat production, sweat rate, sweat sodium collection and sweat sensitivity

Local sweat production and, therefore, sweat-associated sodium losses, were collected using self-adhesive absorbent patches (Tegaderm + Pad, 3M, USA) of 27 cm² for the thigh regions and 10 or 15 cm² for the permanently tattooed and contralateral regions, depending on the tattoos' surface area. Local sweat rate has been shown not to be impacted by patch size (Morris, Cramer, Hodder, Havenith, & Jay, 2013). The skin was thoroughly dried with sterile gauzes prior to installation of the patches. Patches were installed on the skin and firmly pressed for ~5 sec; they were removed with sterile tweezers prior to being saturated with sweat, which was determined by visual inspection. Order of removal was standardized, and patches were transferred to a ziploc-type bag immediately after removal. Patches were weighed prior to installation and after their removal from the skin using an analytical balance (US Solid, USA). Local sweat production was calculated from the pre- to post-change in patch mass and local sweat rate by further correcting for patch installation time (min) and patch surface area (cm²). Sweat sensitivity was estimated during the last 10 min of the cycling period by dividing the local sweat loss (mg · cm²) by the area under the curve for changes in skin temperatures (°C · min⁻¹) (L. E. Armstrong et al., 1997), considering that local sweat production remained constant from ~22 min into the exercise period. At the end of the experiment, patches were placed in 15-mL tubes and centrifuged at room temperature for 5 min at 3500 rpm to extract sweat. The sweat was then transferred to 2 mL microcentrifuge tubes and kept frozen at -20°C until analyses were performed.

Pilot study to establish the recovery of sodium losses

A pilot study (N=2) performed in our laboratory, according to the method used by Shirreffs et Maughan (1997), showed that the recovery of sodium losses following whole-body washdown is 97%. For this pilot study, two, 1-L sodium-chloride solutions (54.4 and 29.7 · mmol L⁻¹) were prepared and on two separate occasions slowly and

gently poured onto the head and shoulders of a nude subject (who had undergone the washing procedures) placed in the laboratory shower. Following a 1-min period, the subject was completely rinsed with 4-L of deionized water, after which he completely dried himself with sterile wipes and was removed from the shower. After complete drying of the shower and curtain with sterile wipes and a thorough mixing of the fluid and wipes found at the bottom of the shower, samples were collected and then analyzed for sodium concentration.

Whole-body washdown sweat collection

The whole-body washdown technique has been validated for the collection of whole-body sweat sodium and potassium losses (Baker et al. 2009). Following exercise participants were thoroughly rinsed with 4 L of deionized water to ensure removal of all sweat-associated sodium and potassium losses. After rinsing, participants dried their whole body thoroughly with sterile wipes that were left at the bottom of the shower. Then, participants moved out of the shower and the whole shower as well as the curtain were completely dried with sterile wipes that were also left at the bottom of the shower. Following this procedure, all materials that touched the participants, except for the shoe covers, were placed at the bottom of the shower. The amount of sweat contained within the materials introduced in the shower was determined from the change of their mass from before to after exercise. Then the bottom of the shower was thoroughly mixed during 3 min, after which 2 mL of solution were taken from each of the 4 corners and bottom center of the shower. This 10-mL sample was then placed in a 15-mL centrifuge tube that was kept frozen at -20°C until analyze. Whole-body sodium and potassium losses (mmol) were computed from the product of the post-wash solution concentration (mmol/L) and the amount of water present at the bottom of the shower (4 L of deionized water + the sweat from the materials placed at the bottom of the shower). Sweat sodium and potassium concentrations (mmol/L) were computed by dividing the whole-body sodium or potassium losses (mmol) by the whole-body sweat loss (L). Ratios of local to whole-body sweat sodium and potassium concentrations were computed by dividing the whole-body values from the local values. A ratio < 1 indicates that local values were lower than whole-body values, while a ratio > 1 indicates the opposite.

Sodium and potassium analyses

Local and whole-body sweat sodium concentrations were determined from direct ion selective electrode (B-722 Laqua Twin, Horiba, Japon), whereas sweat potassium concentration from ion chromatography (883 Basic IC Plus, Metrohm AG, Switzerland). Corrections to background sodium concentration ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) in absorbent patches were made according to Baker et al. (2018). No correction was needed for potassium. Statistical analyses

Statistical analyses were performed with the IBM SPSS Statistics software (version 25, New York, USA). A Shapiro-Wilk test was used to analyze normality of data distribution. Wilcoxon signed-rank test, paired sample t-test and one- and two-way repeated measures of variance (ANOVA) were used to analyze data. Greenhouse-Geisser corrections were applied when sphericity was violated. Alpha values were corrected with the false discovery rate procedure when multiple pairwise comparisons were performed. Simple linear regressions were used to verify the relationship between whole-body and local sweat sodium concentrations. Due to technical problems, data for skin temperature are reported for 12 individuals and those related to sodium and potassium measurements for 11 individuals. Data are reported as mean \pm standard deviation (SD) and statistical significance was fixed at $p \leq 0.05$.

2.4 Results

Ambient temperature and relative humidity

The average ambient temperature and RH inside the laboratory were respectively $31.5 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ and $35.2 \pm 2.0\%$ at the start and $32.4 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ and $37.3 \pm 3.9\%$ at the end of the exercise trials (both $p < 0.05$).

Fluid balance during exercise

Exercise-related fluid balance data are presented in Table 2. Participants were well hydrated before the start of the experiment, as supported by a mean urine specific

gravity $< 1.02 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$. The level of body mass loss following exercise was relatively modest, reaching on average 1.5%.

Exercise intensity

Participants exercised at an average heart rate, power output and relative $\dot{V}\text{O}_2$ of respectively $141 \pm 10 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ ($78 \pm 5\%$ of maximal heart rate), $164 \pm \text{W}$ ($54 \pm 3\%$ of peak power output) and $32 \pm 5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($66 \pm 4\%$ of $\dot{V}\text{O}_{2\text{peak}}$).

Skin temperature

Figure 1 illustrates the changes in skin temperature during the first 20 min of exercise (first collection period) and last 10 min of exercise (second collection period) for the right and left thighs as well as for the permanently tattooed and non-tattooed regions. Local skin temperature values for the right thigh, left thigh, permanently tattooed and the non-tattooed regions were respectively 32.81 ± 0.79 , 32.84 ± 0.71 , 32.98 ± 0.78 , and $32.95 \pm 0.78^\circ\text{C}$ for the first collection period and 33.42 ± 1.26 , 34.18 ± 0.66 , 34.17 ± 0.99 and $33.34 \pm 1.30^\circ\text{C}$ for the second collection period. Combining the first and second collection period, the difference in local skin temperature between the right and left thigh (-0.043°C) regions was similar to that between the permanently tattooed and non-tattooed (-0.023°C) regions ($p=0.11$). Moreover, the CVs between the right and left thigh (0.95%) regions vs. the permanently tattooed and non-tattooed (0.93%) regions were similar. There was a significant interaction ($p < 0.01$), but no treatment ($p=0.76$) or time ($p=0.08$) effect in the changes in local skin temperature among the different regions during the first collection period. There was no significant difference between the permanently tattooed vs. non-tattooed ($p=0.88$) regions and the left thigh vs. right thigh ($p=0.84$) regions. With respect to the second collection period, significant treatment ($p < 0.01$), time ($p < 0.01$) and interaction ($p=0.05$) effects were observed among regions, but no significant difference between the permanently tattooed vs. non-tattooed ($p=0.58$) regions and the left thigh vs. right thigh ($p=0.96$) regions was observed.

Whole-body and local sweat rate and local sweat sensitivity

Patches were placed onto the skin for a mean period of 26.6 ± 5.0 for the thighs' region and 18.7 ± 5.2 min for the tattooed and the non-tattooed regions. Patches weight (local

sweat production) at the end of the collection period was respectively 28.5 ± 10.6 , 31.9 ± 10.1 , 24.0 ± 8.1 and $20.7 \pm 8.1 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2$ for the right and the left thighs and the permanently tattooed and the non-tattooed regions, with no significant difference between left and right thighs ($p=0.11$) as well as the permanently tattooed and non-tattooed ($p=0.19$) regions. Figure 2 shows the rates of local and whole-body sweat losses. Local sweat rates reached 1.11 ± 0.38 , 1.21 ± 0.37 , 1.93 ± 0.82 , and $1.72 \pm 0.81 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ for the right and the left thigh regions and the permanently tattooed and the non-tattooed regions, respectively, with no significant difference between the left and right thighs ($p=0.16$) as well as the permanently tattooed and non-tattooed ($p=0.27$) regions. Although absolute values differed, the mean change in local sweat rate between the right and left thigh ($-0.095 \pm 0.25 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$) regions was not significantly different ($p=0.68$) than that between the permanently tattooed and non-tattooed ($-0.194 \pm 0.66 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$) regions. Figure 3 shows the individual variation in local sweat rate between the right and left thighs and permanently tattooed vs. non-tattooed regions. The CV in local sweat rate between the right and left thigh (11.8%) regions was twofold lower than the permanently tattooed and non-tattooed (25.8%) regions. Whole-body sweat rate ($0.82 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$) was significantly lower than all local sweat rate measurements. There was no significant difference in sweat sensitivity between the right (0.093 ± 0.182) and left ($0.061 \pm 0.085 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, $p=0.36$) thigh regions and the permanently tattooed (0.390 ± 1.107) and the non-tattooed ($0.108 \pm 0.303 \text{ mg} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$, $p=0.48$) regions.

Whole-body and local sweat sodium and potassium concentrations

Figure 4A illustrates the whole-body as well as the local sweat sodium concentrations. Whole body sweat sodium concentration ($39.8 \pm 8.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) was significantly lower than all local sweat sodium concentrations ($p < 0.05$). There was no significant difference in local sweat sodium concentration between the right (58.2 ± 19.4) and left thigh ($55.4 \pm 20.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) regions as well as between the permanently tattooed (73.0 ± 22.9) vs. non-tattooed ($70.2 \pm 18.9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) regions ($p > 0.05$). Figure 4B shows the whole-body as well as the local sweat potassium concentrations. Whole-body sweat potassium concentration was only different than the non-tattooed local

sweat potassium concentration ($p < 0.01$). No significant difference in local sweat potassium concentration was found between the right and left thigh regions ($p=0.70$) as well as between the permanently tattooed and non-tattooed regions ($p=0.09$). Figure 5 shows the individual variation in sweat sodium concentration between the right and left thighs and permanently tattooed vs. non-tattooed regions. The CV in local sweat sodium concentration between the right and left thigh (5.2%) regions was twofold lower than the permanently tattooed and non-tattooed (13.2%) regions.

Ratio of whole-body and local sweat rate and sweat sodium concentration

The ratio of local vs. whole-body sweat sodium concentration is demonstrated in Figure 6A. In line with the above results, all values of sweat sodium concentration deriving from the local regions of the skin were higher than those deriving from the whole-body region. However, no significant difference was found between the right and left thigh regions ($p=0.07$) as well as between the permanently tattooed and non-tattooed regions ($p=0.61$). Figure 6B shows the ratio of local vs. whole-body sweat rate. Again, values of sweat rate deriving from the local regions of the skin were higher than those deriving from the whole-body region, however no significant difference was found between the right and left thigh regions ($p=0.11$) as well as between the permanently tattooed and non-tattooed regions ($p=0.22$).

Prediction of whole-body sweat sodium concentration from the permanently tattooed region

There was a significant correlation between the sweat sodium concentration of the non-tattooed and tattooed area ($r=0.64$, $p=0.04$). Using the regression equation deriving from the relationship between the whole-body and non-tattooed regions sweat sodium concentrations ($y=0.282x + 20.409$, $r=0.61$, $p=0.03$), prediction of whole-body sweat sodium concentration for the permanently tattooed (41.0 ± 6.7) and the non-tattooed ($40.2 \pm 5.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, $p=0.62$) regions did not differ significantly. Deviation from the true, measured whole-body sweat sodium concentration was 1.2 ± 7.0 for the permanently tattooed and $0.4 \pm 6.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ($p=0.62$) for the non-tattooed region. On the other hand, the regression equation ($y=0.198x + 25.395$, $r=0.56$, $p=0.07$) between the whole-body and tattooed regions sweat sodium concentrations also

predicted a similar mean sweat sodium concentration for the permanently tattooed (39.3 ± 3.8) and the non-tattooed area ($39.9 \pm 4.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, $p=0.62$).

2.5 Discussion

The present study aimed to investigate the impact of permanently tattooed skin on local sweat rate, sweat sodium concentration and skin temperature and determine whether permanent tattoos alter the relationship between local and predicted whole-body sweat sodium concentration during a 1 h cycling period conducted under warm conditions. To the best of our knowledge, this is the first study to investigate the impact of permanently tattooed skin on all those variables concomitantly. Three important findings were made. 1) We confirmed the recent findings made by Rogers et al. (2019) who demonstrated that local sweat rate and sweat sodium concentration are not significantly altered during exercise by the presence of permanent tattoos. 2) We showed that local skin temperature regulation is not impacted by permanent tattoos during exercise. 3) We demonstrated that it is legitimate to use locally-derived sweat sodium concentration values from permanently tattooed skin to predict whole-body sodium concentration during exercise from an equation built from a non-tattooed region. The current findings may have important implications for tattooed athletes, coaches, physical trainers, physicians, dieticians, exercise scientists and exercise physiologists.

Our results combined with those of Rogers et al. (2019) indicate that permanent tattooing does not impact local sweat rate nor sweat sodium concentration during intermittent and continuous cycling exercises of ≤ 1 h conducted at moderate intensity and under moderate to warm ambient temperatures. These results contrast sharply with those of Luetkemeier et al. (2017) as well as Cotton et Kuypers (1970) who collectively demonstrated that permanent tattooing impairs local sweat rate and increases sweat sodium concentration during passive conditions. Luetkemeier et al. (2017) used pilocarpine iontophoresis to induce sweating, while Cotton et Kuypers (1970) utilized passive heating. The discordant, but systematic difference among findings, highlight the possibility that the mode of sweat stimulation may have played a critical influential

role. On this basis, we propose that the divergent observations can potentially be explained by the fact that our study and that of Rogers et al. (2019) were performed under exercise conditions, whereas those of Luetkemeier et al. (2017) and Cotton et Kuypers (1970) under passive conditions. This assertion is reasonable from a physiological standpoint. In fact, although the sudomotor responses observed during passive and exercise conditions share common mechanisms, those involved in the latter situation are more important in terms of number but, likely more important, in terms of their nature (Shibasaki, Kondo, & Crandall, 2003). Pilocarpine iontophoresis-induced sweating involves the local cholinergic stimulations of sweat glands' muscarinic receptors (Webster, 1982), whereas during passive heat stress local skin temperature, internal temperature and skin blood flow will also contribute to the stimulation and modulation of the sweating response (Shibasaki & Crandall, 2010). On the other hand, in addition to those mechanisms, exercise-induced sweating involves the implication of non-thermal factors such as muscle contraction, loading of baroreceptors, stimulation of metaboreceptors and body fluid status (Shibasaki & Crandall, 2010). Irrespective of the implicated mechanisms, the state of the current literature suggests that the stimulation of sweating associated with exercise overrides some of the impairments associated with the control of sweating in tattooed individuals under conditions of passive heat exposure.

Our findings showed that there was no statistically significant difference in skin temperature between the tattooed and non-tattooed regions, and that the magnitude of the CV in skin temperature response between those regions was similar to that observed between the right and left thigh regions. In parallel, as alluded to before, there was no significant difference in local sweat rate between the tattooed and non-tattooed regions, although the CV in local sweat rate (and also of local sweat sodium concentration) between those regions was substantially more important than what was observed for the right and left thigh regions. It is unclear why the tattooed vs. non-tattooed area demonstrated more variations in local sweat rate than the right and left thigh area, but we speculate that this may potentially be related to differences associated with the tattoos' density, the types of ink used during the tattooing process, the age of the tattoos

or a combination of these factors. Irrespective of that, our findings taken together suggest 1) that the heat transfer capacity of the skin was not impaired by the presence of tattoos, at least during exercise and 2) that the dilation of the peripheral blood vessels and, therefore, skin blood flow beneath the tattooed regions were likely unaltered. Sweat sensitivity was not impaired by the presence of tattoos, compared to the control region. This observation indicates that the peripheral influence of local skin temperature on the central controller in the determination of sweating rate was unaltered by tattooing and, therefore, that the innervation around the sweat glands was likely well-preserved in tattooed persons. There is a need to determine whether the regulation of local skin temperature in tattooed individuals is altered under passive conditions.

Another objective of this study was to determine whether tattoos alter the relationship between local and predicted whole-body sweat sodium concentration. From a practical standpoint, it was important to provide an answer to this question, as regression equations have been developed in the past attempting to predict whole-body sweat sodium concentration from values of sweat sodium concentration collected with the patch technique (Baker et al., 2009). The development of such equations was relevant and necessary as regional sweat collection has been shown to generally overestimate sweat sodium concentration and that the whole-body washdown technique is not practical and difficult to implement, particularly under field conditions. We showed a significant relationship between whole-body and local sweat sodium concentration of the contralateral, non-tattooed area despite that tattoos were placed on different surfaces of the body. This is not necessarily surprising, as Baker et al. (2009) have demonstrated that sweat sodium concentration collected from different areas such as the anterior midthigh, upper chest, midforearm, forehead or back (superior scapula) all correlates significantly with whole-body sweat sodium concentration. While using the regression equation deriving from the relationship between the whole-body and non-tattooed regions sweat sodium concentrations, an error of less than $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ was observed between the whole-body prediction of sweat sodium concentration for the permanently tattooed vs. the non-tattooed area. Altogether, these findings indicate that

it would be acceptable to use sweat sodium concentration values deriving from a patch that has been placed over a tattooed area to predict whole-body sweat sodium concentration from an existing regression equation derived from a non-tattooed area. The present results must be interpreted with the following limitations in mind. First, the results apply only for a moderate-intensity exercise period of 1 h conducted under warm conditions. It is possible that divergent results could be observed during longer or more intense exercise performed under warmer environments, where the sudomotor response would be more challenged. Local skin temperature was only measured from a small surface area of the tattoo. Although skin temperature may have differed from other areas of the tattooed surface, it is unlikely to have differed from the contralateral surface area. We did not measure core body temperature, and it cannot be concluded from our results that tattoos do not impact this function.

In conclusion, our results indicate that permanent tattoos do not alter local sweat rate, sweat sodium concentration and local skin temperature. Moreover, likely owing to the aforementioned observations, our findings suggest that it would be legitimate to place a patch over a tattooed surface and use the associated sweat sodium concentration value to predict whole-body sweat sodium concentration.

Acknowledgement

We must thank all athletes who participated in, and dedicated time, commitment and efforts to the success of this project.

Authors contribution

J.B and E.D.B.G conceived and designed the research. J.B., M.P.B., D.J. and A.D performed the experiments. J.B., E.D.B.G. and T.D. analyzed the experimental data, performed the statistical analyses and designed the figures. J.B., E.D.B.G., T.D., M.P.B, D.J., A.D. and L.B. interpreted the results and drafted the manuscript.

Funding

This study was made possible through a research grant provided by the Université de Sherbrooke.

Compliance with ethical standards**Conflict of interest**

Jeff Beliveau, Maxime Perrault-Briere, David Jeker, Thomas Deshayes, Ana Duran and Eric D.B. Goulet declare that they have no competing interests. Author Lindsay B. Baker is an employee of the Gatorade Sports Science Institute, a division of PepsiCo Inc. The views expressed in this article are those of the authors and do not necessarily reflect the position or policy of PepsiCo Inc.

Informed consent

Participants provided their written informed consent and were made aware of the possible risks and benefits related to their participation in this study.

Ethical approval

All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee (CIUSSS Estrie-CHUS Ethics Committee; #2018-2757) and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

2.6 References

- Amano T, Hirose M, Konishi K, Gerrett N, Ueda H, Kondo N, Inoue Y (2017) Maximum rate of sweat ions reabsorption during exercise with regional differences, sex, and exercise training. *European journal of applied physiology* 117 (7):1317-1327. doi:10.1007/s00421-017-3619-8
- Arl M, Nogueira DJ, Schveitzer Koerich J, Mottim Justino N, Schulz Vicentini D, Gerson Matias W (2019) Tattoo inks: Characterization and in vivo and in vitro toxicological evaluation. *J Hazard Mater* 364:548-561. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.10.072
- Baker LB (2017) Sweating Rate and Sweat Sodium Concentration in Athletes: A Review of Methodology and Intra/Interindividual Variability. *Sports medicine (Auckland, NZ)* 47 (Suppl 1):111-128. doi:10.1007/s40279-017-0691-5
- Baker LB, De Chavez PJD, Ungaro CT, Sopena BC, Nuccio RP, Reimel AJ, Barnes KA (2019) Exercise intensity effects on total sweat electrolyte losses and regional vs. whole-body sweat [Na(+)], [Cl(-)], and [K(+)]. *European journal of applied physiology* 119 (2):361-375. doi:10.1007/s00421-018-4048-z
- Baker LB, Stofan JR, Hamilton AA, Horswill CA (2009) Comparison of regional patch collection vs. whole body washdown for measuring sweat sodium and potassium loss during exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985)* 107 (3):887-895. doi:10.1152/japplphysiol.00197.2009
- Barnes KA, Anderson ML, Stofan JR, Dalrymple KJ, Reimel AJ, Roberts TJ, Randell RK, Ungaro CT, Baker LB (2019) Normative data for sweating rate, sweat sodium concentration, and sweat sodium loss in athletes: An update and

- analysis by sport. *Journal of sports sciences* 37 (20):2356-2366.
doi:10.1080/02640414.2019.1633159
- Brown MB, McCarty NA, Millard-Stafford M (2011) High-sweat Na⁺ in cystic fibrosis and healthy individuals does not diminish thirst during exercise in the heat. *American journal of physiology Regulatory, integrative and comparative physiology* 301 (4):R1177-1185. doi:10.1152/ajpregu.00551.2010
- Bucher M, Miles A, Levy JL (2018). *Praxis* 107 (3):153-157. doi:10.1024/1661-8157/a002882
- Cotton DW, Kuypers BR (1970) Thermal induced sweating in tattooed skin. *Dermatologica* 141 (3):252-254. doi:10.1159/000252474
- Dziedzic CE, Ross ML, Slater GJ, Burke LM (2014) Variability of measurements of sweat sodium using the regional absorbent-patch method. *International journal of sports physiology and performance* 9 (5):832-838. doi:10.1123/ijsp.2013-0480
- Engel E, Santarelli F, Vasold R, Maisch T, Ulrich H, Prantl L, Konig B, Landthaler M, Baumler W (2008) Modern tattoos cause high concentrations of hazardous pigments in skin. *Contact Dermatitis* 58 (4):228-233. doi:10.1111/j.1600-0536.2007.01301.x
- Evans GH, James LJ, Shirreffs SM, Maughan RJ (2017) Optimizing the restoration and maintenance of fluid balance after exercise-induced dehydration. *J Appl Physiol* (1985) 122 (4):945-951. doi:10.1152/jappphysiol.00745.2016
- Gagnon D, Jay O, Kenny GP (2013) The evaporative requirement for heat balance determines whole-body sweat rate during exercise under conditions permitting

- full evaporation. J Physiol 591 (11):2925-2935.
doi:10.1113/jphysiol.2012.248823
- Gopee NV, Cui Y, Olson G, Warbritton AR, Miller BJ, Couch LH, Wamer WG, Howard PC (2005) Response of mouse skin to tattooing: use of SKH-1 mice as a surrogate model for human tattooing. Toxicol Appl Pharmacol 209 (2):145-158. doi:10.1016/j.taap.2005.04.003
- Hew-Butler T, Verbalis JG, Noakes TD (2006) Updated fluid recommendation: position statement from the International Marathon Medical Directors Association (IMMDA). Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine 16 (4):283-292
- Heywood W, Patrick K, Smith AM, Simpson JM, Pitts MK, Richters J, Shelley JM (2012) Who gets tattoos? Demographic and behavioral correlates of ever being tattooed in a representative sample of men and women. Annals of epidemiology 22 (1):51-56. doi:10.1016/j.annepidem.2011.10.005
- Kluger N (2014) [Tattoos and medical imaging: issues and myths]. Presse Med 43 (5):529-533. doi:10.1016/j.lpm.2013.07.031
- Laux P, Tralau T, Tentschert J, Blume A, Dahouk SA, Baumler W, Bernstein E, Bocca B, Alimonti A, Colebrook H, de Cuyper C, Dahne L, Hauri U, Howard PC, Janssen P, Katz L, Klitzman B, Kluger N, Krutak L, Platzek T, Scott-Lang V, Serup J, Teubner W, Schreiber I, Wilkniss E, Luch A (2016) A medical-toxicological view of tattooing. Lancet 387 (10016):395-402. doi:10.1016/s0140-6736(15)60215-x

- Luetkemeier MJ, Hanisko JM, Aho KM (2017) Skin Tattoos Alter Sweat Rate and Na⁺ Concentration. *Medicine and science in sports and exercise* 49 (7):1432-1436. doi:10.1249/mss.0000000000001244
- Mitchell JW, Nadel ER, Stolwijk JA (1972) Respiratory weight losses during exercise. *Journal of applied physiology* 32 (4):474-476. doi:10.1152/jappl.1972.32.4.474
- Morris NB, Cramer MN, Hodder SG, Havenith G, Jay O (2013) A comparison between the technical absorbent and ventilated capsule methods for measuring local sweat rate. *J Appl Physiol* (1985) 114 (6):816-823. doi:10.1152/japplphysiol.01088.2012
- Muller SM, Hogg S, Itin P (2018) Tattoos and Penalty Success at the FIFA World Cup 2018. *Dermatology* 234 (5-6):226-228. doi:10.1159/000492468
- Nose H, Mack GW, Shi XR, Nadel ER (1988) Shift in body fluid compartments after dehydration in humans. *J Appl Physiol* (1985) 65 (1):318-324. doi:10.1152/jappl.1988.65.1.318
- Pizzey FK, Parupia IM, Allen DR, Huang M, Luetkemeier MJ, Davis SL (2017) Attenuated Sweating Responses in Tattooed Skin During a Passive Whole-body Heat Stress. *The FASEB Journal* 31 (1_supplement):lb746-lb746. doi:10.1096/fasebj.31.1_supplement.lb746
- Rogers E, Irwin C, McCartney D, Cox GR, Desbrow B (2019) Tattoos do not affect exercise-induced localised sweat rate or sodium concentration. *Journal of science and medicine in sport*. doi:10.1016/j.jsams.2019.06.004

- Serup J, Carlsen KH, Sepehri M (2015) Tattoo complaints and complications: diagnosis and clinical spectrum. *Curr Probl Dermatol* 48:48-60. doi:10.1159/000369645
- Shibasaki M, Crandall CG (2010) Mechanisms and controllers of eccrine sweating in humans. *Front Biosci (Schol Ed)* 2:685-696. doi:10.2741/s94
- Shirreffs SM, Maughan RJ (1997) Whole body sweat collection in humans: an improved method with preliminary data on electrolyte content. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md : 1985) 82 (1):336-341. doi:10.1152/jappl.1997.82.1.336
- Sweeney SM (2006) Tattoos: a review of tattoo practices and potential treatment options for removal. *Current opinion in pediatrics* 18 (4):391-395. doi:10.1097/01.mop.0000236388.64333.cd
- Verbraecken J, Van de Heyning P, De Backer W, Van Gaal L (2006) Body surface area in normal-weight, overweight, and obese adults. A comparison study. *Metabolism: clinical and experimental* 55 (4):515-524. doi:10.1016/j.metabol.2005.11.004
- Vimieiro-Gomes AC, Magalhaes FC, Amorim FT, Machado-Moreira CA, Rosa MS, Lima NR, Rodrigues LO (2005) Comparison of sweat rate during graded exercise and the local rate induced by pilocarpine. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas medicas e biologicas* 38 (7):1133-1139. doi:/S0100-879x2005000700017
- Wingo JE, Low DA, Keller DM, Brothers RM, Shibasaki M, Crandall CG (2010) Skin blood flow and local temperature independently modify sweat rate during

passive heat stress in humans. Journal of applied physiology (Bethesda, Md :
1985) 109 (5):1301-1306. doi:10.1152/japplphysiol.00646.2010

2.7 Tables

Table 1. Permanent tattoos characteristics.

Characteristics	Mean \pm SD
Number of tattoos	3.4 \pm 3.0
Total tattoos surface area (cm ²)	1117 \pm 892
Total surface area of the tattoo of interest (cm ²)	743 \pm 560
Percent of total body surface area tattooed (%)	6.0 \pm 4.8
Age of tattoos (yrs)	2.8 \pm 1.7
Tattoo regions	N
Arm/forearm	9
Pectoral	3
Left flank	1

Table 2. Exercise-related fluid balance data.

Parameters	Mean \pm SD
Urine specific gravity at arrival at the laboratory ($\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	1.013 ± 0.008
End-of-exercise body mass loss (%)	1.5 ± 0.3
Urine production following exercise (mL)	82 ± 54
Metabolic mass loss (g)	75 ± 14
Respiratory water loss (g)	107 ± 20
Whole-body sweat rate ($\text{mL} \cdot \text{h}^{-1}$)	945 ± 200
Whole-body sweat rate ($\text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)	8.28 ± 1.63
Whole-body sweat rate ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	0.21 ± 0.04

2.8 Figure legends

Figure 1.

Changes in local skin temperature during the first (A section) and second (B section) collection period. For clarity, error bars were omitted. Results are for $n=12$.

Figure 2.

Local and whole-body sweat rates. Results are means \pm SD and are for $n=13$.

Figure 3.

Individual variation in local sweat rate between the right and left thigh regions and permanently tattooed vs. non-tattooed regions.

Figure 4

Local and whole-body sodium (A) and potassium (B) concentrations. Results are means \pm SD and are for $n=11$.

Figure 5.

Individual variation in sweat sodium concentration between the right and left thigh regions and permanently tattooed vs. non-tattooed regions.

Figure 6.

Ratio of local vs. whole-body sweat sodium concentration (A) and sweat rate (B). Results are means \pm SD and are for $n=11$.

2.9 Figures

Figure 1.

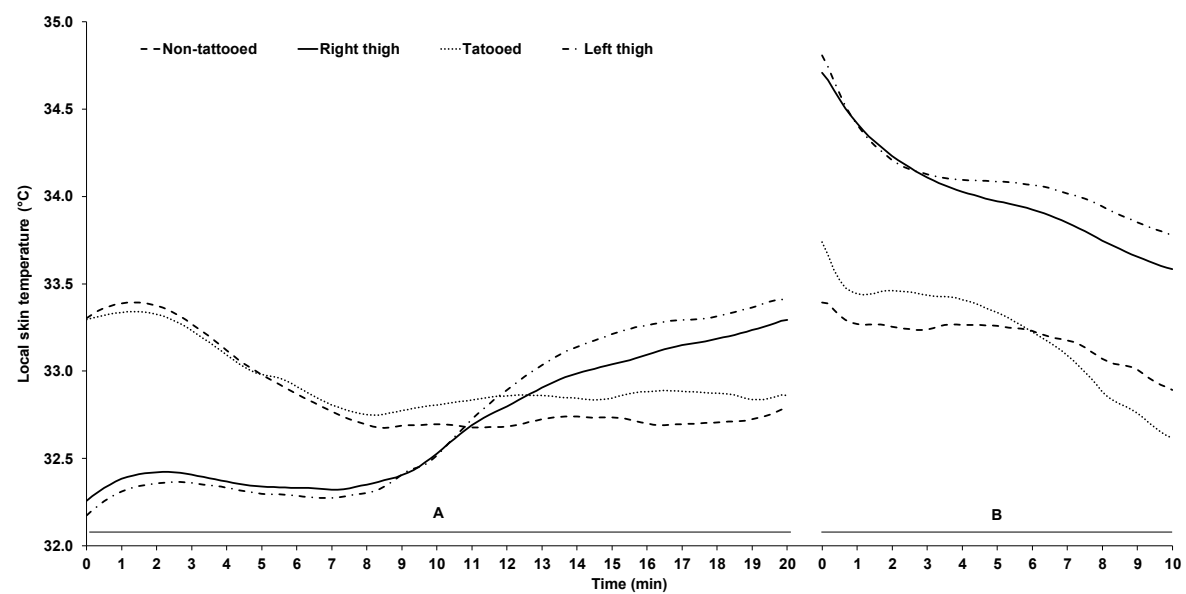


Figure 2.

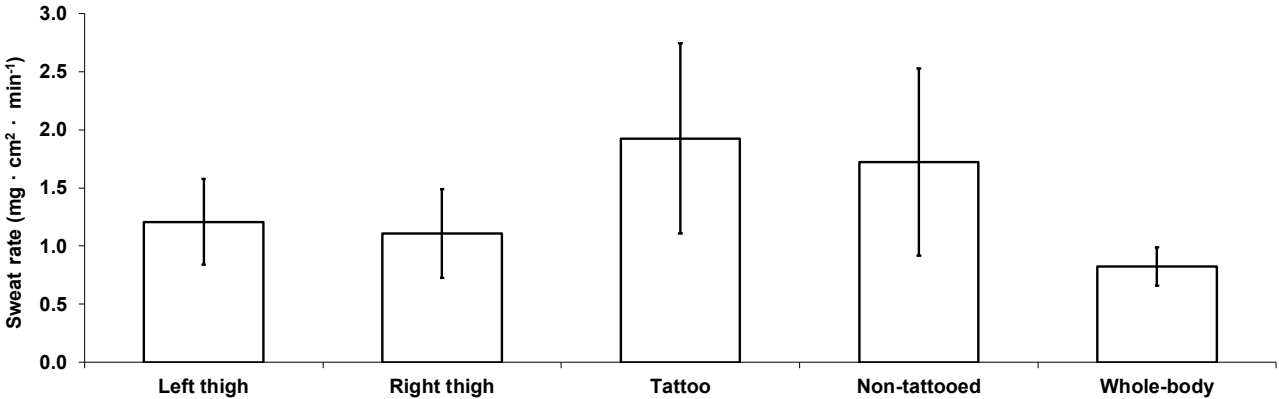


Figure 3.

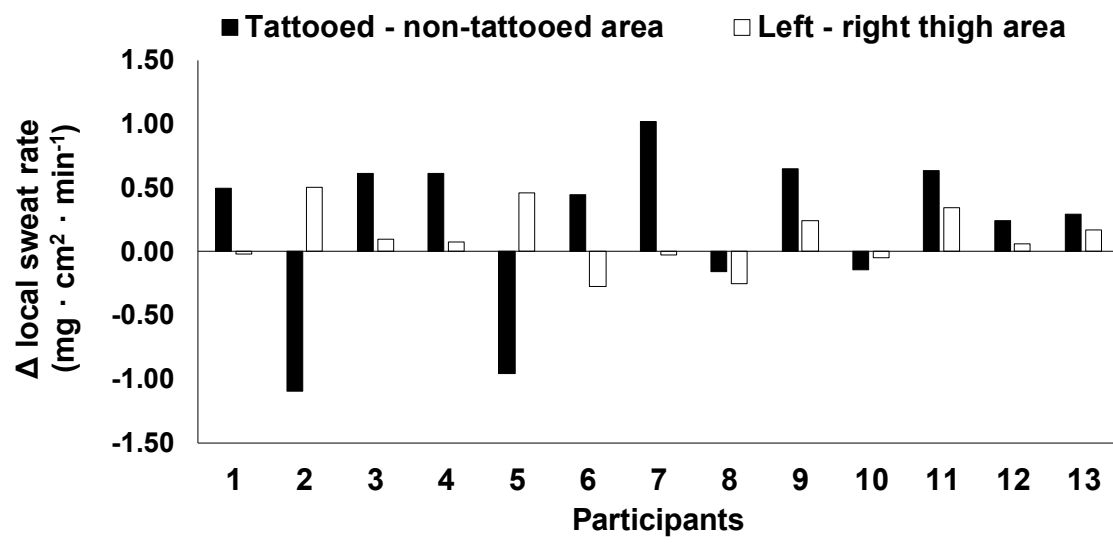


Figure 4.

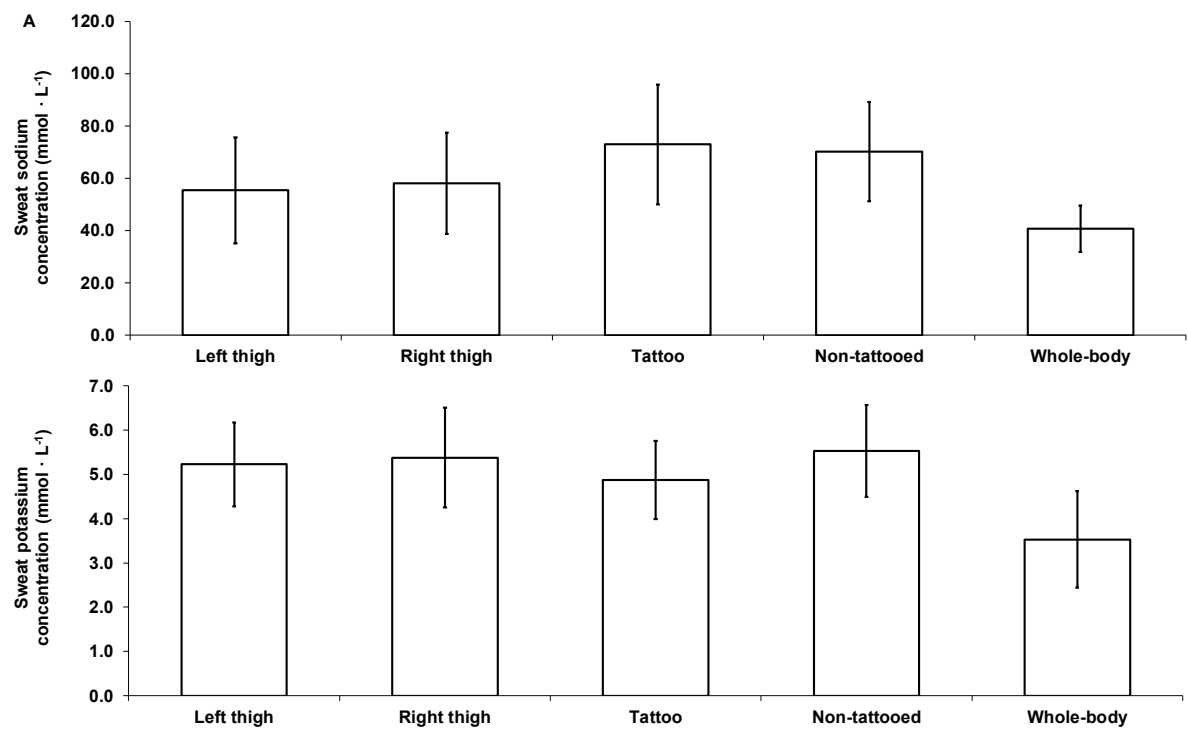


Figure 5

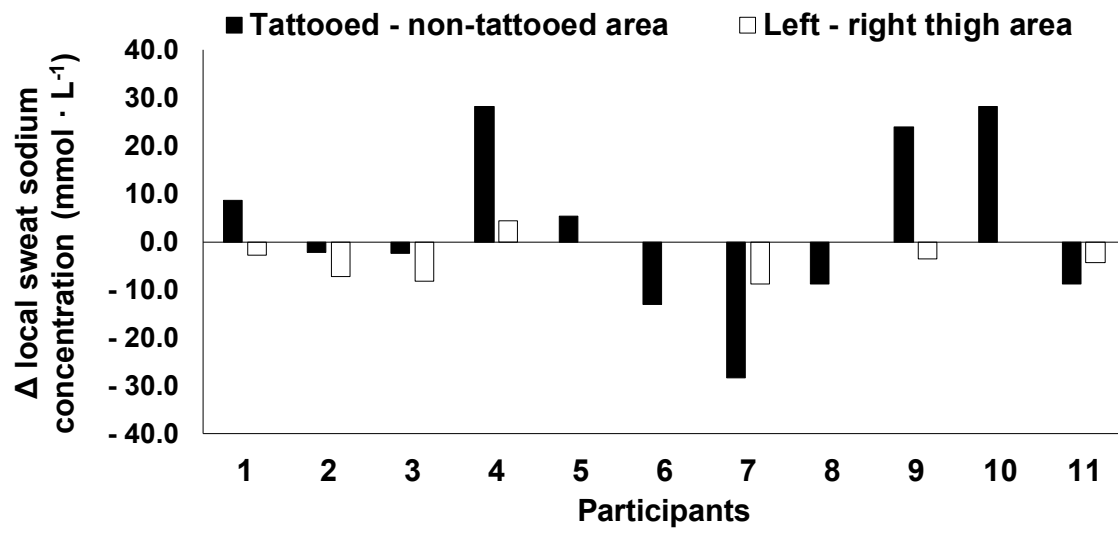
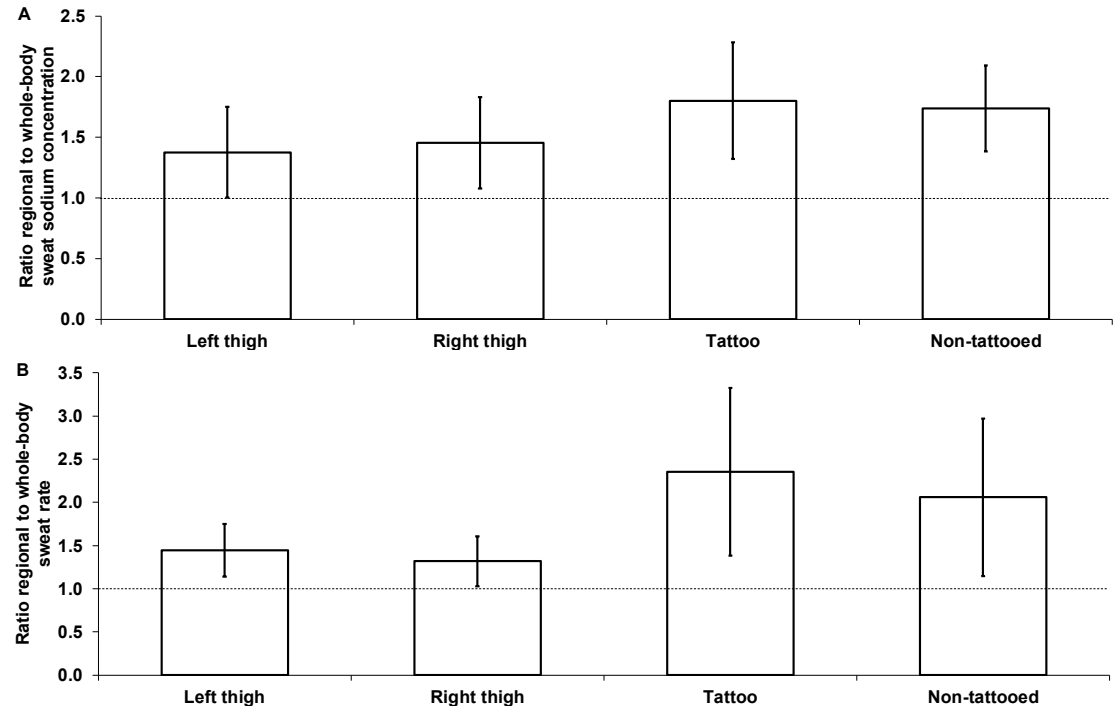


Figure 6



3. DISCUSSION

Cette discussion est une addition à celle disponible dans l'article présenté dans la section méthodologie de ce mémoire.

3.1 Recherches futures

Le tatouage est une pratique très diversifiée où plusieurs types d'encre et plusieurs techniques sont utilisées. Il est bien connu que la composition de l'encre utilisée pour le tatouage est différente selon le pigment et la marque d'encre choisie. Arl et al. (2019) se sont intéressés à la toxicité *in vitro* et *in vivo* de 4 encres commerciales qui permettaient de créer la majorité des couleurs constituant un tatouage. Il a été démontré que le noir contient en majeure partie du carbone, ce qui représente un faible niveau de toxicité pour l'humain. Le rouge présente la plus haute toxicité en contenant une proportion acceptable en particules métalliques, mais une quantité non négligeable de composés cancérogènes à long terme (groupe azo). C'est différent pour le vert et le bleu qui sont à base de métaux oxydants (TiO_2 , CuO , Al_2O_3) et de ce fait, toxique pour le milieu vivant dans lequel ces encres sont insérées (Arl et al., 2019). Plus précisément, l'aluminium est présent dans ces encres. Il est démontré que les particules d'aluminium peuvent bloquer les pores sécréteurs d'une glande sudorale, et ainsi nuire à l'évacuation de la sudation (Bretagne et al., 2017). Présentement, aucune étude scientifique n'a été réalisée en situation d'exercice sur l'influence du type d'encre composant le tatouage. Pour de nouveaux résultats, il serait intéressant de recruter et de classifier les participants selon le type d'encre contenu dans le tatouage, pour ensuite les soumettre à un effort d'endurance. De même, l'âge des participants pourrait être une voie à exploiter lors de futures recherches s'intéressant à l'impact d'un tatouage sur la capacité à évacuer la chaleur corporelle. En fait, le vieillissement entraîne une diminution de la sudation du corps entier et locale dû à une diminution du débit maximal par glande sudorale pour un même stimulus (Kenney & Munce, 2003). Inbar, Morris, Epstein, et Gass (2004) ont démontré une réduction significative du taux de

sudation dû à l'âge lors d'un exercice fait à 50% du $\dot{V}O_{2peak}$. En plus, une diminution du débit sanguin vers la peau attribuable aux changements structurels des vaisseaux sanguins cutanés, est aussi démontrée comme une conséquence de l'avancement en âge (E. Evans et al., 1993). Il en résulte une baisse de la capacité à bien évacuer la chaleur emmagasinée chez les sujets de 40 ans et plus (Meade et al., 2018). En sachant que la capacité à bien évacuer la chaleur corporelle diminue de 4% à chaque décennie à partir de l'âge de 20 ans, il devient intéressant de contrôler ce facteur lors d'éventuelles études (McGinn et al., 2017). Le pourquoi de ce phénomène dans des conditions de stress thermique induit par l'exercice reste à clarifier. Autre que la baisse de sudation et la réduction du débit sanguin cutané, des récents travaux nous portent à croire que la plus grande déshydratation à l'effort des sujets plus vieux serait limitante à l'évacuation de leur chaleur corporelle (Larose, Boulay, Sigal, Wright, & Kenny, 2013). Plus en lien avec de nouveaux travaux émis par notre laboratoire, la mesure de la température corporelle en continu est une donnée fiable de la capacité d'un individu à thermoréguler lors d'un exercice (Lim et al., 2008). En fait, la température rectale est la mesure la plus utilisée en sciences de l'activité physique, car sa fiabilité et sa validité sont reconnues dans la monde scientifique (Gosselin et al., 2019). Nous avons fourni, dans ce mémoire, des résultats qui indiquent qu'un tatouage n'a pas d'influence sur la température locale de la peau. Il n'en demeure pas moins qu'il serait intéressant de mesurer la température rectale des sujets lors de l'effort pour démontrer si un tatouage peut ou non agir sur cette dernière.

4. CONCLUSION

Les résultats présentés dans ce mémoire rejettent nos hypothèses en démontrant qu'un tatouage n'a pas d'influence sur la perte de sudation locale, la concentration locale de sodium dans la sudation et la température locale de la peau lors d'un exercice à intensité modéré dans un environnement chaud. De plus, nous démontrons que les scientifiques peuvent utiliser le modèle établi par Baker et al. (2009) pour prédire la concentration

en sodium perdue par le corps entier à partir d'un échantillon local, et ce, même chez une personne tatouée.

Les retombées de ce mémoire sont importantes, car nos résultats fournissent des chiffres par rapport à la perte de sudation locale, la concentration locale en sodium et en potassium dans la sudation et la régulation locale de la température de la peau chez un individu tatoué à l'effort. De plus, cette étude permet de mieux éclairer les professionnels de la santé, les chercheurs, les athlètes et les entraîneurs sur les effets d'un tatouage dans des conditions d'exercice. Cette étude devrait aussi permettre de mieux en connaître sur ce sujet encore peu étudié.

Les futures recherches dans le domaine de la thermorégulation devraient s'intéresser au type d'encre utilisé pour faire les tatouages et ses effets lors d'un effort physique. Aussi, une étude tenant compte de l'âge des participants pourrait mieux contrôler ce qui est attribuable aux véritables variations des fonctions thermorégulatrices. Enfin, mesurer la température rectale chez un sujet tatoué pourrait potentiellement faire avancer la recherche dans le domaine de la thermorégulation.

5. RÉFÉRENCES

- Amano, T., Hirose, M., Konishi, K., Gerrett, N., Ueda, H., Kondo, N., & Inoue, Y. (2017). Maximum rate of sweat ions reabsorption during exercise with regional differences, sex, and exercise training. *Eur J Appl Physiol*, 117(7), 1317-1327. doi:10.1007/s00421-017-3619-8
- Arl, M., Nogueira, D. J., Schveitzer Koerich, J., Mottim Justino, N., Schulz Vicentini, D., & Gerson Matias, W. (2019). Tattoo inks: Characterization and in vivo and in vitro toxicological evaluation. *J Hazard Mater*, 364, 548-561. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.10.072
- Armstrong, L. E., Maresh, C. M., Gabaree, C. V., Hoffman, J. R., Kavouras, S. A., Kenefick, R. W., . . . Ahlquist, L. E. (1997). Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake. *J Appl Physiol* (1985), 82(6), 2028-2035. doi:10.1152/jappl.1997.82.6.2028
- Armstrong, M. L., Owen, D. C., Roberts, A. E., & Koch, J. R. (2002). College tattoos: more than skin deep. *Dermatol Nurs*, 14(5), 317-323.
- Atkinson, M. (2004). Tattooing and civilizing processes: body modification as self-control. *Can Rev Sociol Anthropol*, 41(2), 125-146. doi:10.1111/j.1755-618x.2004.tb02173.x
- Bain, A. R., Deren, T. M., & Jay, O. (2011). Describing individual variation in local sweating during exercise in a temperate environment. *Eur J Appl Physiol*, 111(8), 1599-1607. doi:10.1007/s00421-010-1788-9
- Baker, L. B. (2017). Sweating Rate and Sweat Sodium Concentration in Athletes: A Review of Methodology and Intra/Interindividual Variability. *Sports Med*, 47(Suppl 1), 111-128. doi:10.1007/s40279-017-0691-5
- Baker, L. B., Barnes, K. A., Anderson, M. L., Passe, D. H., & Stofan, J. R. (2016). Normative data for regional sweat sodium concentration and whole-body sweating rate in athletes. *J Sports Sci*, 34(4), 358-368. doi:10.1080/02640414.2015.1055291
- Baker, L. B., De Chavez, P. J. D., Ungaro, C. T., Sopena, B. C., Nuccio, R. P., Reimel, A. J., & Barnes, K. A. (2019). Exercise intensity effects on total sweat electrolyte losses and regional vs. whole-body sweat [Na(+)], [Cl(-)], and [K(+)]. *Eur J Appl Physiol*, 119(2), 361-375. doi:10.1007/s00421-018-4048-z

- Baker, L. B., Stofan, J. R., Hamilton, A. A., & Horswill, C. A. (2009). Comparison of regional patch collection vs. whole body washdown for measuring sweat sodium and potassium loss during exercise. *J Appl Physiol (1985)*, *107*(3), 887-895. doi:10.1152/jappphysiol.00197.2009
- Barnes, K. A., Anderson, M. L., Stofan, J. R., Dalrymple, K. J., Reimel, A. J., Roberts, T. J., . . . Baker, L. B. (2019). Normative data for sweating rate, sweat sodium concentration, and sweat sodium loss in athletes: An update and analysis by sport. *J Sports Sci*, *37*(20), 2356-2366. doi:10.1080/02640414.2019.1633159
- Benjamins, L. J., Risser, W. L., Cromwell, P. F., Feldmann, J., Bortot, A. T., Eissa, M. A., & Nguyen, A. B. (2006). Body art among minority high school athletes: prevalence, interest and satisfaction; parental knowledge and consent. *J Adolesc Health*, *39*(6), 933-935. doi:10.1016/j.jadohealth.2006.06.012
- Best, A., Lieberman, D. E., & Kamilar, J. M. (2019). Diversity and evolution of human eccrine sweat gland density. *J Therm Biol*, *84*, 331-338. doi:10.1016/j.jtherbio.2019.07.024
- Bretagne, A., Cotot, F., Arnaud-Roux, M., Sztucki, M., Cabane, B., & Galey, J. B. (2017). The mechanism of eccrine sweat pore plugging by aluminium salts using microfluidics combined with small angle X-ray scattering. *Soft Matter*, *13*(20), 3812-3821. doi:10.1039/c6sm02510b
- Brown, M. B., McCarty, N. A., & Millard-Stafford, M. (2011). High-sweat Na⁺ in cystic fibrosis and healthy individuals does not diminish thirst during exercise in the heat. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, *301*(4), R1177-1185. doi:10.1152/ajpregu.00551.2010
- Bucher, M., Miles, A., & Levy, J. L. (2018). *Praxis (Bern 1994)*, *107*(3), 153-157. doi:10.1024/1661-8157/a002882
- Buono, M. J., Claros, R., Deboer, T., & Wong, J. (2008). Na⁺ secretion rate increases proportionally more than the Na⁺ reabsorption rate with increases in sweat rate. *J Appl Physiol (1985)*, *105*(4), 1044-1048. doi:10.1152/jappphysiol.90503.2008
- Buono, M. J., Kolding, M., Leslie, E., Moreno, D., Norwood, S., Ordille, A., & Weller, R. (2018). Heat acclimation causes a linear decrease in sweat sodium ion concentration. *J Therm Biol*, *71*, 237-240. doi:10.1016/j.jtherbio.2017.12.001

- Casa, D. J., DeMartini, J. K., Bergeron, M. F., Csillan, D., Eichner, E. R., Lopez, R. M., . . . Yeargin, S. W. (2015). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional Heat Illnesses. *J Athl Train*, 50(9), 986-1000. doi:10.4085/1062-6050-50.9.07
- Cheuvront, S. N., Bearden, S. E., Kenefick, R. W., Ely, B. R., Degroot, D. W., Sawka, M. N., & Montain, S. J. (2009). A simple and valid method to determine thermoregulatory sweating threshold and sensitivity. *J Appl Physiol* (1985), 107(1), 69-75. doi:10.1152/jappphysiol.00250.2009
- Cole, M. A., Quan, T., Voorhees, J. J., & Fisher, G. J. (2018). Extracellular matrix regulation of fibroblast function: redefining our perspective on skin aging. *J Cell Commun Signal*, 12(1), 35-43. doi:10.1007/s12079-018-0459-1
- Cotton, D. W., & Kuypers, B. R. (1970). Thermal induced sweating in tattooed skin. *Dermatologica*, 141(3), 252-254. doi:10.1159/000252474
- Cramer, M. N., & Jay, O. (2015). Explained variance in the thermoregulatory responses to exercise: the independent roles of biophysical and fitness/fatness-related factors. *J Appl Physiol* (1985), 119(9), 982-989. doi:10.1152/jappphysiol.00281.2015
- Cramer, M. N., & Jay, O. (2016). Biophysical aspects of human thermoregulation during heat stress. *Auton Neurosci*, 196, 3-13. doi:10.1016/j.autneu.2016.03.001
- Cramer, M. N., & Jay, O. (2019). Partitional calorimetry. *J Appl Physiol* (1985), 126(2), 267-277. doi:10.1152/jappphysiol.00191.2018
- Dziedzic, C. E., Ross, M. L., Slater, G. J., & Burke, L. M. (2014). Variability of measurements of sweat sodium using the regional absorbent-patch method. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(5), 832-838. doi:10.1123/ijsspp.2013-0480
- Evans, E., Rendell, M., Bartek, J., Connor, S., Bamisedun, O., Dovgan, D., & Giitter, M. (1993). Thermally-induced cutaneous vasodilatation in aging. *J Gerontol*, 48(2), M53-57. doi:10.1093/geronj/48.2.m53
- Evans, G. H., James, L. J., Shirreffs, S. M., & Maughan, R. J. (2017). Optimizing the restoration and maintenance of fluid balance after exercise-induced dehydration. *J Appl Physiol* (1985), 122(4), 945-951. doi:10.1152/jappphysiol.00745.2016
- Gagnon, D., & Crandall, C. G. (2018). Sweating as a heat loss thermoeffector. *Handb Clin Neurol*, 156, 211-232. doi:10.1016/B978-0-444-63912-7.00013-8

- Gagnon, D., & Kenny, G. P. (2011). Sex modulates whole-body sudomotor thermosensitivity during exercise. *J Physiol*, 589(Pt 24), 6205-6217. doi:10.1113/jphysiol.2011.219220
- Gagnon, D., & Kenny, G. P. (2012). Sex differences in thermoeffector responses during exercise at fixed requirements for heat loss. *J Appl Physiol* (1985), 113(5), 746-757. doi:10.1152/japplphysiol.00637.2012
- Gerrett, N., Amano, T., Inoue, Y., Havenith, G., & Kondo, N. (2018). The effects of exercise and passive heating on the sweat glands ion reabsorption rates. *Physiol Rep*, 6(5). doi:10.14814/phy2.13619
- Gosselin, J., Beliveau, J., Hamel, M., Casa, D., Hosokawa, Y., Morais, J. A., & Goulet, E. D. B. (2019). Wireless measurement of rectal temperature during exercise: Comparing an ingestible thermometric telemetric pill used as a suppository against a conventional rectal probe. *J Therm Biol*, 83, 112-118. doi:10.1016/j.jtherbio.2019.05.010
- Goulet, E. D., Dion, T., & Myette-Cote, E. (2012). Validity and reliability of the Horiba C-122 compact sodium analyzer in sweat samples of athletes. *Eur J Appl Physiol*, 112(10), 3479-3485. doi:10.1007/s00421-012-2331-y
- Havenith, G., Fogarty, A., Bartlett, R., Smith, C. J., & Ventenat, V. (2008). Male and female upper body sweat distribution during running measured with technical absorbents. *Eur J Appl Physiol*, 104(2), 245-255. doi:10.1007/s00421-007-0636-z
- Hew-Butler, T., Verbalis, J. G., & Noakes, T. D. (2006). Updated fluid recommendation: position statement from the International Marathon Medical Directors Association (IMMDA). *Clin J Sport Med*, 16(4), 283-292.
- Heywood, W., Patrick, K., Smith, A. M., Simpson, J. M., Pitts, M. K., Richters, J., & Shelley, J. M. (2012). Who gets tattoos? Demographic and behavioral correlates of ever being tattooed in a representative sample of men and women. *Ann Epidemiol*, 22(1), 51-56. doi:10.1016/j.annepidem.2011.10.005
- Hu, Y., Converse, C., Lyons, M. C., & Hsu, W. H. (2018). Neural control of sweat secretion: a review. *Br J Dermatol*, 178(6), 1246-1256. doi:10.1111/bjd.15808
- Inbar, O., Morris, N., Epstein, Y., & Gass, G. (2004). Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. *Exp Physiol*, 89(6), 691-700. doi:10.1113/expphysiol.2004.027979

- Islam, P. S., Chang, C., Selmi, C., Generali, E., Huntley, A., Teuber, S. S., & Gershwin, M. E. (2016). Medical Complications of Tattoos: A Comprehensive Review. *Clin Rev Allergy Immunol*, 50(2), 273-286. doi:10.1007/s12016-016-8532-0
- Kenney, W. L., & Munce, T. A. (2003). Invited review: aging and human temperature regulation. *J Appl Physiol* (1985), 95(6), 2598-2603. doi:10.1152/japplphysiol.00202.2003
- Kluger, N. (2014). [Tattoos and medical imaging: issues and myths]. *Presse Med*, 43(5), 529-533. doi:10.1016/j.lpm.2013.07.031
- Kluger, N., & Koljonen, V. (2012). Tattoos, inks, and cancer. *Lancet Oncol*, 13(4), e161-168. doi:10.1016/S1470-2045(11)70340-0
- Kluger, N., & Samimi, M. (2019). Tattoos among elite football players during the 2018 FIFA World Cup Russia. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 33(3), e132-e134. doi:10.1111/jdv.15338
- Larose, J., Boulay, P., Sigal, R. J., Wright, H. E., & Kenny, G. P. (2013). Age-related decrements in heat dissipation during physical activity occur as early as the age of 40. *PLoS One*, 8(12), e83148. doi:10.1371/journal.pone.0083148
- Lim, C. L., Byrne, C., & Lee, J. K. (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Ann Acad Med Singapore*, 37(4), 347-353.
- Luetkemeier, M. J., Hanisko, J. M., & Aho, K. M. (2017). Skin Tattoos Alter Sweat Rate and Na⁺ Concentration. *Med Sci Sports Exerc*, 49(7), 1432-1436. doi:10.1249/MSS.0000000000001244
- McGinn, R., Poirier, M. P., Louie, J. C., Sigal, R. J., Boulay, P., Flouris, A. D., & Kenny, G. P. (2017). Increasing age is a major risk factor for susceptibility to heat stress during physical activity. *Appl Physiol Nutr Metab*, 42(11), 1232-1235. doi:10.1139/apnm-2017-0322
- Meade, R. D., Fujii, N., Poirier, M. P., Boulay, P., Sigal, R. J., & Kenny, G. P. (2018). Oxidative stress does not influence local sweat rate during high-intensity exercise. *Exp Physiol*, 103(2), 172-178. doi:10.1113/EP086746
- Mitchell, J. W., Nadel, E. R., & Stolwijk, J. A. (1972). Respiratory weight losses during exercise. *J Appl Physiol*, 32(4), 474-476. doi:10.1152/jappl.1972.32.4.474

- Morris, N. B., Cramer, M. N., Hodder, S. G., Havenith, G., & Jay, O. (2013). A comparison between the technical absorbent and ventilated capsule methods for measuring local sweat rate. *J Appl Physiol (1985)*, *114*(6), 816-823. doi:10.1152/jappphysiol.01088.2012
- Morrison, S. A., Cheung, S., & Cotter, J. D. (2014). Importance of airflow for physiologic and ergogenic effects of precooling. *J Athl Train*, *49*(5), 632-639. doi:10.4085/1062-6050-49.3.27
- Muller, S. M., Hogg, S., & Itin, P. (2018). Tattoos and Penalty Success at the FIFA World Cup 2018. *Dermatology*, *234*(5-6), 226-228. doi:10.1159/000492468
- Niu, H. H., Lui, P. W., Hu, J. S., Ting, C. K., Yin, Y. C., Lo, Y. L., . . . Lee, T. Y. (2001). Thermal symmetry of skin temperature: normative data of normal subjects in Taiwan. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei)*, *64*(8), 459-468.
- Noel, F., Pierard-Franchimont, C., Pierard, G. E., & Quatresooz, P. (2012). Sweaty skin, background and assessments. *Int J Dermatol*, *51*(6), 647-655. doi:10.1111/j.1365-4632.2011.05307.x
- Nose, H., Mack, G. W., Shi, X. R., & Nadel, E. R. (1988). Shift in body fluid compartments after dehydration in humans. *J Appl Physiol (1985)*, *65*(1), 318-324. doi:10.1152/jappl.1988.65.1.318
- Otani, H., Kaya, M., Tamaki, A., Hosokawa, Y., & Lee, J. K. W. (2019). Solar radiation and the validity of infrared tympanic temperature during exercise in the heat. *Int J Biometeorol*. doi:10.1007/s00484-019-01791-1
- Pagaduan, J. V., Ali, M., Dowlin, M., Suo, L., Ward, T., Ruiz, F., & Devaraj, S. (2018). Revisiting sweat chloride test results based on recent guidelines for diagnosis of cystic fibrosis. *Pract Lab Med*, *10*, 34-37. doi:10.1016/j.plabm.2018.01.001
- Periard, J. D., Racinais, S., & Sawka, M. N. (2015). Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scand J Med Sci Sports*, *25 Suppl 1*, 20-38. doi:10.1111/sms.12408
- Rivas, E., Rao, M., Castleberry, T., & Ben-Ezra, V. (2017). The change in metabolic heat production is a primary mediator of heat acclimation in adults. *J Therm Biol*, *70*(Pt B), 69-79. doi:10.1016/j.jtherbio.2017.10.001
- Roberts, D. J. (2012). Secret ink: tattoo's place in contemporary American culture. *J Am Cult (Malden)*, *35*(2), 153-165.

- Rogers, E., Irwin, C., McCartney, D., Cox, G. R., & Desbrow, B. (2019). Tattoos do not affect exercise-induced localised sweat rate or sodium concentration. *J Sci Med Sport*. doi:10.1016/j.jsams.2019.06.004
- Sagoe, D., Pallesen, S., & Andreassen, C. S. (2017). Prevalence and correlates of tattooing in Norway: A large-scale cross-sectional study. *Scand J Psychol*, 58(6), 562-570. doi:10.1111/sjop.12399
- Sato, K., Kang, W. H., Saga, K., & Sato, K. T. (1989). Biology of sweat glands and their disorders. I. Normal sweat gland function. *J Am Acad Dermatol*, 20(4), 537-563. doi:10.1016/s0190-9622(89)70063-3
- Sawka, M. N. (1992). Physiological consequences of hypohydration: exercise performance and thermoregulation. *Med Sci Sports Exerc*, 24(6), 657-670.
- Schafer, I. A., Pandey, M., Ferguson, R., & Davis, B. R. (1985). Comparative observation of fibroblasts derived from the papillary and reticular dermis of infants and adults: growth kinetics, packing density at confluence and surface morphology. *Mech Ageing Dev*, 31(3), 275-293. doi:10.1016/0047-6374(85)90095-8
- Scheinfeld, N. (2007). Tattoos and religion. *Clin Dermatol*, 25(4), 362-366. doi:10.1016/j.clindermatol.2007.05.009
- Schleh, M. W., & Dumke, C. L. (2018). Comparison of Sports Drink Versus Oral Rehydration Solution During Exercise in the Heat. *Wilderness Environ Med*, 29(2), 185-193. doi:10.1016/j.wem.2018.01.005
- Schmid, S. (2013). Tattoos - an historical essay. *Travel Med Infect Dis*, 11(6), 444-447. doi:10.1016/j.tmaid.2013.10.013
- Serup, J., Carlsen, K. H., & Sepehri, M. (2015). Tattoo complaints and complications: diagnosis and clinical spectrum. *Curr Probl Dermatol*, 48, 48-60. doi:10.1159/000369645
- Shibasaki, M., & Crandall, C. G. (2010). Mechanisms and controllers of eccrine sweating in humans. *Front Biosci (Schol Ed)*, 2, 685-696.
- Shibasaki, M., Kondo, N., & Crandall, C. G. (2003). Non-thermoregulatory modulation of sweating in humans. *Exerc Sport Sci Rev*, 31(1), 34-39.
- Shirreffs, S. M., & Maughan, R. J. (1997). Whole body sweat collection in humans: an improved method with preliminary data on electrolyte content. *J Appl Physiol* (1985), 82(1), 336-341. doi:10.1152/jappl.1997.82.1.336

- Silver, F. H., Freeman, J. W., & DeVore, D. (2001). Viscoelastic properties of human skin and processed dermis. *Skin Res Technol*, 7(1), 18-23. doi:10.1034/j.1600-0846.2001.007001018.x
- Sperry, K. (1991). Tattoos and tattooing. Part I: History and methodology. *Am J Forensic Med Pathol*, 12(4), 313-319.
- Swami, V., Pietschnig, J., Bertl, B., Nader, I. W., Stieger, S., & Voracek, M. (2012). Personality differences between tattooed and non-tattooed individuals. *Psychol Rep*, 111(1), 97-106. doi:10.2466/09.07.21.PR0.111.4.97-106
- Sweeney, S. M. (2006). Tattoos: a review of tattoo practices and potential treatment options for removal. *Curr Opin Pediatr*, 18(4), 391-395. doi:10.1097/01.mop.0000236388.64333.cd
- Tiggemann, M., & Hopkins, L. A. (2011). Tattoos and piercings: bodily expressions of uniqueness? *Body Image*, 8(3), 245-250. doi:10.1016/j.bodyim.2011.03.007
- Van Mulder, T. J., de Koeijer, M., Theeten, H., Willems, D., Van Damme, P., Demolder, M., . . . Vankerckhoven, V. (2017). High frequency ultrasound to assess skin thickness in healthy adults. *Vaccine*, 35(14), 1810-1815. doi:10.1016/j.vaccine.2016.07.039
- Varani, J. (1998). Preservation of human skin structure and function in organ culture. *Histol Histopathol*, 13(3), 775-783. doi:10.14670/HH-13.775
- Verbraecken, J., Van de Heyning, P., De Backer, W., & Van Gaal, L. (2006). Body surface area in normal-weight, overweight, and obese adults. A comparison study. *Metabolism*, 55(4), 515-524. doi:10.1016/j.metabol.2005.11.004
- Vimieiro-Gomes, A. C., Magalhaes, F. C., Amorim, F. T., Machado-Moreira, C. A., Rosa, M. S., Lima, N. R., & Rodrigues, L. O. (2005). Comparison of sweat rate during graded exercise and the local rate induced by pilocarpine. *Braz J Med Biol Res*, 38(7), 1133-1139. doi:10.1590/s0100-879x2005000700017
- Webster, H. L. (1982). Improved pilocarpine reservoir for use in sweat testing. *Clin Chem*, 28(10), 2182-2183.

ANNEXE A

PROJET DE RECHERCHE



Curieux de comprendre comment un tatouage peut influencer votre mécanisme de thermorégulation?

Nous recrutons présentement des volontaires afin d'évaluer si un tatouage influence le taux de sudation à l'effort physique!

Chercheur principal : Eric Goulet, Ph. D. | Numéro de projet : 2018-2757

NOUS RECHERCHONS DES HOMMES OU DES FEMMES :

1. âgés de 18 à 55 ans;
2. entraînés (exercice physique d'intensité modérée à élevée plus de quatre fois par semaine);
3. à l'aise de faire au moins une heure de vélo à intensité modérée;
4. qui présentent un indice de masse corporelle $< 30 \text{ kg/m}^2$.

DURÉE DE L'ÉTUDE : une 1^{re} visite de 2,5 heures au laboratoire et une seconde de 3,5 heures. Une mesure de la consommation maximale d'oxygène est prévue à la 1^{re} visite.

Une légère compensation financière est prévue pour les frais engagés pour la participation à l'étude.

POUR OBTENIR PLUS D'INFORMATIONS, les personnes intéressées sont priées de contacter M. Jeff Béliveau.

Ce projet a été approuvé par le CÉR du CIUSSS de l'Estrie – CHUS.

Date de publication : Juin 2018

ANNEXE B

FORMULAIRE DE DÉDOMMAGEMENT

Titre du projet: Production de sudation, perte de sodium à travers la sudation et température locale de la peau: impact du tatouage lors d'une période d'exercice à la chaleur

Numéro du projet: 2015-482/GOULET

Chercheur principaux:

- Eric Goulet, Ph.D., professeur-chercheur à la Faculté des sciences de l'activité physique de l'Université de Sherbrooke et au Centre de recherche sur le vieillissement.
- Jeff Béliveau, B.Sc., étudiant à la maîtrise en kinésiologie, Faculté des sciences de l'activité physique. Université de Sherbrooke.

Collaborateur : Lindsay Baker, Ph.D., chercheur, Gatorade Sports Science Institute.

COMPENSATION Un montant forfaitaire de 100 \$ vous est versé pour votre participation à l'étude.

_____	_____
Nom	Prénom

Adresse complète

_____	_____
Signature	Date

_____	_____
Signature du responsable	Date

?

ANNEXE C

RENSEIGNEMENTS SUR LE TATOUAGE

1. Nombre de tatouage : _____

2. Localisation du ou des tatouages (s) :

3. Localisation du tatouage évalué :

4. Âge approximatif du tatouage évalué :

5. Superficie du pourtour du tatouage évalué :

6. Somme de la superficie du pourtour des tatouages :

7. Couleur (s) du tatouage évalué :

ANNEXE D

AIDE MÉMOIRE

Code: _____

Jours avant expérimentation	Restrictions
Phase de familiarisation	
- 1	<p>A partir de h</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> On vous recommande d'augmenter votre consommation de glucides complexes (pâte, pain, céréales, etc.) <input type="checkbox"/> Veuillez maintenir un apport en sel normal <input type="checkbox"/> Repos complet ou léger entraînement (45 min et moins)
0	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> On vous recommande d'augmenter votre consommation de glucides complexes (pâte, pain, céréales, etc.) <input type="checkbox"/> Veuillez maintenir un apport en sel normal <input type="checkbox"/> Aucun entraînement <input type="checkbox"/> 60 minutes avant l'expérimentation (h): Consommation de 250 millilitres d'eau et par la suite vous demeurez à jeun

ANNEXE E

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

Nom: _____

Code: _____

Courriel: _____

Personne que l'on peut rejoindre en cas d'urgence:

Nom: _____

Numéro de téléphone: Maison: _____ Bureau: _____

ANNEXE F

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT À LA RECHERCHE

TITRE DU PROJET DE RECHERCHE

Production de sudation, perte de sodium à travers la sudation et température locale de la peau: impact du tatouage lors d'une période d'exercice à la chaleur.

ÉQUIPE DE RECHERCHE

Chercheur principal

**Eric Goulet, Ph.D., professeur-chercheur
Faculté des sciences de l'activité
physique; Centre de recherche
vieillesse.
Université de Sherbrooke.**

Étudiant responsable du projet

**Jeff Béliveau, B.Sc. Étudiant
maîtrise.
Faculté des sciences de l'activité
physique;
Université de Sherbrooke**

NUMÉRO DE DOSSIER

FINANCEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Ce projet est financé par un fonds départemental de recherche de la Faculté des sciences de l'activité physique de l'Université de Sherbrooke.

PRÉAMBULE

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche parce que nous voulons déterminer l'impact d'un tatouage sur la production de sudation, la perte de sodium à travers la sudation et la température locale de la peau lors d'une période d'exercice à la chaleur. Cependant, avant d'accepter de participer à cette recherche, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire vous explique le but de cette étude, les procédures, les avantages, les risques et les inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin. Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles et à demander que nous vous expliquions tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

Si vous acceptez de participer à ce projet, vous devrez signer le consentement à la fin du présent document. Nous vous en remettrons une copie pour vos dossiers.

NATURE ET OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

Nous savons que l'univers du tatouage est maintenant devenu une véritable mode dans la société. Ce procédé consiste en des piqûres répétées qui transpercent la peau dans le but d'y déposer l'encre nécessaire pour l'atteinte de nuances et de formes désirées. La peau comprend plusieurs éléments nécessaires à la vie comme, entre autres, les glandes sudoripares eccrines, responsable de produire la sudation. Or, l'insertion répétée des aiguilles pendant le processus de tatouage engendre des blessures au niveau des glandes sudoripares. De plus, l'encre utilisée pour le tatouage demeure dans l'entourage des glandes sudoripares.

En situation d'exercice physique, la majorité de la chaleur produite par l'activité des muscles est éliminée à travers la sudation. Or, les glandes sudoripares sont essentielles afin d'éliminer l'excès de chaleur corporelle produite en situation d'exercice. De plus, un des rôles importants des glandes sudoripares pendant l'exercice est d'extraire une partie du sodium circulant à l'intérieur de ces dernières, à défaut de quoi les concentrations de sodium dans le sang pourraient dangereusement baisser.

Or, une récente étude a démontré que la sudation produite au niveau d'une peau tatouée est moins élevée qu'une peau non tatouée, et que la concentration de sodium retrouvée dans la sudation d'une peau tatouée est plus élevée qu'une peau non tatouée. Par contre, cette étude comporte un biais méthodologique important qui pourrait compromettre la validité de ses résultats. En effet, la sudation n'a pas été induite par une période d'exercice physique. Plutôt, elle a été récoltée chez des sujets passifs et provoquée de façon pharmacologique. **Or, il a été démontré que la production de sudation et les concentrations de sodium dans la sudation peuvent varier lorsque stimulée de façon pharmacologique, comparativement à lorsque stimulée par une période d'exercice.**

Le but de la présente étude est donc de répondre aux questions suivantes:

1. Est-ce que le taux de sudation entre une surface de peau tatouée et une surface de peau non tatouée est similaire ou différent lors d'un effort physique?
2. Est-ce que la concentration de sodium prélevée via un échantillon de sudation est similaire ou différente entre une surface de peau tatouée et une surface de peau non tatouée lors d'un effort physique?
3. Est-ce que la température locale entre une surface de peau tatouée et une surface de peau non tatouée est similaire ou différente lors d'un effort physique?
4. Est-ce que la concentration de sodium contenue dans un échantillon de sudation prélevée au niveau d'une surface de peau tatouée diffère de la concentration de sodium mesurée au niveau du corps en entier?
5. Est-ce que la concentration de sodium contenue dans un échantillon de sudation prélevée au niveau d'une surface de peau tatouée nous permet de prédire la concentration de sodium dans la sudation du corps en entier?

DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Si vous acceptez de participer à l'étude après la lecture du présent formulaire, votre implication exigera deux visites au laboratoire de recherche sur la performance, l'hydratation et la thermorégulation situé au Centre sportif de l'Université de Sherbrooke, local J1-119. La durée de la première visite sera d'environ 2.5 heures et celle de la deuxième d'environ 3.5 heures. Les deux visites pourront être effectuées selon un horaire vous convenant. Par contre, un intervalle de 3 à 10 jours après la première visite est à prioriser pour éviter des conflits d'horaire.

1^{re} visite

- ☐ On vous accueille au laboratoire;
- ☐ On vous fera la lecture du formulaire de consentement et on répondra à vos questions;
- ☐ Nous allons prendre de façon écrite votre consentement;
- ☐ Nous allons prendre des renseignements généraux (âge, adresse de courriel et personne que l'on peut rejoindre en cas d'urgence). Ces renseignements personnels seront gardés confidentiels et en aucun temps ne seront partagés avec des tiers;
- ☐ Vous allez remplir un questionnaire de santé;
- ☐ Nous allons mesurer votre tension artérielle et votre fréquence cardiaque de repos;
- ☐ Vous allez vidanger votre vessie;
- ☐ Nous allons mesurer votre poids et votre taille;
- ☐ Nous allons évaluer la superficie et le positionnement du tatouage;
- ☐ Vous allez passer un test de consommation maximale d'oxygène sur vélo stationnaire (exercice de 15 minutes jusqu'à la fatigue maximale). Pour ce faire, vous effectuerez d'abord un échauffement de 5-10 minutes sur le vélo à une intensité de votre choix. Ensuite, on apposera un masque sur votre visage qui servira à mesurer votre consommation d'air. On apposera ensuite une ceinture au niveau de votre torse afin de mesurer votre fréquence cardiaque. Du gel sera appliqué sur la ceinture afin de faciliter la transmission du signal. Le test débutera à une résistance de 100 watts (effort facile), et cette dernière augmentera de 30 watts à chaque minute subséquente jusqu'à ce que vous ne soyez plus en mesure de tourner les pédales. Ce test sera effectué à une température de 20-22 °C et un ventilateur fonctionnera pendant le test afin de vous refroidir. Pour ce test vous pourrez porter un cuissard, un chandail, des bas et des chaussures de sport;
- ☐ Vous devrez nous remettre un short, une paire de bas et, pour les femmes, une brassière sportive;
- ☐ Nous allons vous remettre un aide-mémoire.

2^e visite

- ☐ On vous accueille au laboratoire;
- ☐ Vous allez vidanger votre vessie;
- ☐ Vous devrez récolter un échantillon d'urine;
- ☐ Si nécessaire, nous raserons la surface tatouée, la partie opposée du corps correspondante à la surface de la peau tatouée (zone contrôle) et la partie supérieure des 2 cuisses (ces zones nous permettront de comprendre la variation normale de température du corps et de concentration de sodium dans la sudation au niveau de 2 zones identiques situées à des côtés opposés du corps);
- ☐ Vous allez prendre une douche dans le vestiaire et essuyer votre corps au complet;

- Vous allez vidanger votre vessie;
- Nous allons mesurer votre poids corporel;
- Vous serez complètement rincés avec de l'eau déminéralisée dans un enclos prévu à cet effet et vous devez vous assécher complètement;
- Vous vous habillez pour le test à venir. Vous pourrez porter bas, soulier de vélo, cuissard et brassière de sport;
- Nous allons installer 4 sondes épidermiques (sur la surface tatouée, la partie opposée du corps correspondante à la surface de la peau tatouée (zone contrôle) et sur les deux 2 cuisses) pour mesurer la température de la peau. Ces sondes seront tenues à l'aide de ruban adhésif;
- Nous allons installer une électrode au niveau du torse pour mesurer la fréquence cardiaque;
- Vous commencerez un exercice sur vélo stationnaire de 60 min à 68% de votre capacité maximale. La température du local sera de 32°C, avec un taux d'humidité de 35-40%. Vous ne pourrez pas boire pendant l'exercice;
- 20 minutes suivant le début de l'exercice, nous allons retirer les sondes épidermiques et nous allons coller des tampons autocollants sur les zones à l'étude pour capter la sueur;
- 50 minutes suivant le début de l'exercice, nous allons retirer les tampons et remettre les sondes en place ;
- 10 minutes plus tard, nous allons retirer les sondes épidermiques et le test à vélo sera terminé ;
- Vous allez vous diriger vers une douche localisée dans le laboratoire;
- Vous devrez enlever vos vêtements;
- Vous allez être complètement rincés avec de l'eau déminéralisée et vous devrez vous assécher complètement;
- Vous devrez vidanger votre vessie et nous allons vous peser;
- Fin de la visite.

COLLABORATION DU SUJET DE RECHERCHE

Pendant la période de l'étude, on s'attend à ce que vous modifiiez certaines habitudes de vie au point de vue de votre nutrition et de votre entraînement.

Nutrition

Pendant les dernières 24 heures avant cette visite, on recommandera aux volontaires d'augmenter légèrement leur consommation de glucides complexes (pâte, pain, céréales, etc.), en prévision de l'exercice relativement intense à venir. Il leur sera aussi demandé de maintenir un apport sodique normal. Afin d'assurer une bonne hydratation pendant l'expérimentation, nous demanderons aux volontaires de consommer 250 ml d'eau 60 min avant de se présenter au laboratoire, après quoi ils devront demeurer à jeun.

Entraînement

Lors des dernières 24 heures avant cette visite, on indiquera aux volontaires qu'ils ont le choix entre un repos complet ou un léger entraînement (45 min et moins).

RISQUES ASSOCIÉS AU PROJET DE RECHERCHE

Les périodes d'exercices (tests de VO_{2max} et expérimentation) pourraient potentiellement engendrer un risque de blessures musculaires chez des personnes plus susceptibles. Ces sportifs plus susceptibles le savent très bien, puisqu'ils peuvent constater que la prévalence de blessure est plus élevée chez eux que chez d'autres sportifs. Par contre, la prévalence de ces événements est quand même très rare chez des personnes actives en santé.

La période d'exercice à vélo sous la chaleur pourrait, chez certains individus, causer des maux de tête, des nausées, des étourdissements, des vomissements et une faiblesse généralisée. Par contre, la prévalence de ces événements est quand même rare chez des personnes actives en santé.

Les périodes d'exercices (tests de VO_{2max} et expérimentation) pourraient potentiellement causer l'hypoglycémie chez certains individus plus susceptibles. Par contre, cette étude est effectuée chez des personnes actives en santé chez qui les mécanismes du maintien de la glycémie par la glycogénolyse et la néoglucogenèse hépatique fonctionnent de façon optimale. De plus, les volontaires auront accès à des boissons pour sportifs et barres tendres suivant les visites au laboratoire.

L'évaluation de la VO_{2max} demande la production d'un effort maximal. De façon tout à fait exceptionnelle, chez la personne adulte en santé, un effort physique effectué à haute intensité pourrait causer des réactions plus graves telles des problèmes cardiaques qui pourraient provoquer une mort subite (1 personne sur 16 500 individus)¹⁶. Afin de limiter ce risque, seulement les individus à faibles risques (rencontrant les critères recommandés par l'American College of Sports Medicine¹⁶), n'exigeant aucune supervision médicale pendant l'exercice intense¹⁶ et aptes à faire de l'activité physique selon le questionnaire PAR-Q+ de la Société Canadienne de Physiologie de l'Exercice, seront inclus dans l'étude. Par contre, la prévalence de problèmes cardiaques est quand même très rare chez des personnes actives en santé, dont l'organisme est habitué à tolérer le stress associé à l'exercice.

Si des problèmes de santé se manifestent pendant l'expérimentation, vous devrez les signaler aux chercheurs aussitôt que vous les ressentirez. Si les symptômes ressentis sont considérés comme importants, l'expérimentation arrêtera immédiatement et sera remise à un jour subséquent, à moins que vous décidiez de vous retirer de l'étude. À tout moment pendant l'expérimentation l'expérimentateur (ou vous-même) peut décider de mettre fin à l'expérimentation.

INCONVÉNIENTS

Les périodes d'exercice (tests de VO_{2max} et expérimentation) seront exigeantes. Or, il est possible que pendant et après ces périodes, vous ressentiez une fatigue mentale et/ou physique inhabituelle. La fatigue devrait s'atténuer dans les minutes ou heures suivant ces périodes d'exercices. De plus, ces périodes d'exercices pourraient aussi causer des douleurs musculaires qui pourraient durer quelques jours.

L'exposition à la chaleur pourrait engendrer des perceptions subjectives peu agréables comme la sensation d'avoir très chaud ou d'être fatigué.

La sensation de soif pourrait être désagréable lors de l'expérimentation, puisque la prise de liquide ne sera pas permise.

Les sondes épidermiques seront maintenues à l'aide de ruban adhésif. De plus, les tampons seront collés sur la peau. Or, le retrait du ruban adhésif ou des tampons pourrait être inconfortable pour la peau.

Vous devrez potentiellement être rasés aux endroits où les tampons autocollants seront installés.

Vous devrez être rincés à nue, ce qui pourrait entraîner un certain inconfort.

AVANTAGES

Il se peut que vous retiriez un bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons pas le garantir. Néanmoins, vous obtiendrez des informations qui vous permettront de:

- ☐ Connaître votre capacité cardiorespiratoire;
- ☐ Connaître votre concentration de sodium dans la sudation à partir des valeurs du corps entier;
- ☐ Connaître votre taux de production de sudation pendant l'exercice et;
- ☐ Connaître les effets de votre tatouage sur la production de sudation, les concentrations de sodium dans la sudation et la température locale de la peau.

Par ailleurs, les informations découlant de ce projet de recherche pourraient contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de la science de l'exercice.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET POSSIBILITÉ DE RETRAIT

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable du projet ou à l'un des membres du personnel affecté au projet. Votre décision de participer ou non n'aura aucun impact sur votre parcours scolaire et vos relations présentes ou futures avec les membres de l'équipe de recherche.

Le chercheur responsable de l'étude et le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS de l'Estrie - CHUS peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement, si de nouvelles découvertes ou informations indiquent que votre participation au projet n'est plus dans votre intérêt, si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche ou s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet.

À moins d'avis contraire de votre part, si vous vous retirez de l'étude ou en êtes retiré, l'information vous concernant obtenue dans le cadre de l'étude sera rendue anonyme, c'est-à-dire qu'il sera impossible de les lier à votre nom, prénom, coordonnées ou date de naissance. L'information sera conservée par le chercheur principal de l'étude durant 5 ans. Passé ce délai, l'information sera détruite selon les normes en vigueur au CIUSSS de l'Estrie - CHUS.

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet qui pourrait affecter votre décision de continuer d'y participer vous sera communiquée sans délai verbalement ou par écrit.

CONFIDENTIALITÉ

Durant votre participation à ce projet, nous recueillerons et consignerons dans un dossier de recherche des renseignements qui vous concernent. Seuls ceux qui sont strictement nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques du projet seront recueillis et utilisés à des fins de recherche.

Ces renseignements (données) comprendront les informations suivantes :

- Votre nom, votre âge et votre adresse de courriel;
- Votre état de santé présent ;
- Les résultats de tous les tests et de toutes les procédures que vous aurez à faire durant ce projet.

Toutes ces données demeureront strictement confidentielles, dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité des renseignements recueillis, vous serez identifié par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée exclusivement par le chercheur responsable.

À la fin du projet de recherche, les données recueillies contenues dans votre dossier de recherche seront rendues anonymes, c'est-à-dire qu'il sera impossible de les lier à votre nom, prénom, coordonnées ou date de naissance.

Ainsi, les données pourront :

- Servir pour d'autres analyses reliées au projet ;
- Servir pour l'élaboration de projets de recherche futurs.

Et les résultats de recherche pourront :

- Être publiés dans des revues spécialisées ;
- Faire l'objet de discussions scientifiques.

Quant à vos renseignements personnels (votre nom et/ou vos coordonnées), ils seront conservés, dans un dossier séparé, pendant 5 ans après la fin du projet par le chercheur responsable et seront détruits selon les normes en vigueur au CIUSSS de l'Estrie - CHUS par la suite.

Les personnes suivantes pourront consulter votre dossier de recherche :

- Vous-même, pour vérifier les renseignements recueillis et les faire rectifier au besoin et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable ou le CIUSSS de l'Estrie - CHUS détiennent ces informations.
- Une personne mandatée par le CÉR du CIUSSS de l'Estrie - CHUS ou par des organismes publics autorisés et ce, à des fins de surveillance et de contrôle. Toutes ces personnes et tous ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

COMPENSATION

Vous recevrez un montant de 100\$ pour votre participation, en compensation des frais encourus et des contraintes subies pendant votre participation à ce projet de recherche.

DROITS DU PARTICIPANT

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs ou l'établissement où se déroule ce projet de recherche de leurs responsabilités civile et professionnelle.

IDENTIFICATION DES PERSONNES-RESSOURCES

Si vous avez des questions concernant le projet de recherche ou si vous éprouvez un problème que vous croyez relié à votre participation au projet de recherche, vous pouvez communiquer avec le chercheur responsable du projet de recherche ou les membres de son équipe aux numéros suivants :

☐ Eric Goulet : 819 821-8000, poste 62728 ou eric.goulet@usherbrooke.ca

Si vous avez des plaintes ou des commentaires à formuler, vous pouvez communiquer avec le Bureau des plaintes et de la qualité des services du CIUSSS de l'Estrie - CHUS au 1-866-917-7903.

SURVEILLANCE DES ASPECTS ÉTHIQUES

Le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS de l'Estrie - CHUS a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi annuel. De plus, il approuvera, au préalable, toute révision et toute modification apportée au présent formulaire d'information et de consentement et au protocole de recherche.

Pour toutes questions reliées à l'éthique, concernant vos droits ou les conditions dans lesquelles se déroule votre participation à ce projet, vous pouvez communiquer le Service de soutien à l'éthique de la recherche du CIUSSS de l'Estrie – CHUS au 819 346-1110, poste 12856.

ÉTUDES ULTÉRIEURES

Dans l'éventualité où des projets de recherche similaires à celui-ci se réaliseraient dans les 5 prochaines années, acceptez-vous qu'un membre de l'équipe de recherche prenne contact avec vous pour vous proposer une nouvelle participation? Bien sûr, lors de cet appel, vous seriez entièrement libre d'accepter ou de refuser de participer.

Oui ☐ Non ☐

